

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA MANGUEIRA SOB DIFERENTES
TRATAMENTOS DE IRRIGAÇÃO

JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2006

JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS

**EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA MANGUEIRA SOB DIFERENTES
TRATAMENTOS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Agrometeorologia

Orientadores: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2006

C198e Campos, João Hugo Baracuy da Cunha.
Eficiência do uso da água na mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação / João Hugo Baracuy da Cunha Campos. - Campina Grande, 2006.
84 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2006.
"Orientação : Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo".
Referências.

1. Irrigação - Meteorologia. 2. Evapotranspiração. 3. Umidade do Solo. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Azevedo, Pedro Vieira de. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título


CDU 551.573:631.67(043)


JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS


EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA MANGUEIRA SOB DIFERENTES
TRATAMENTOS DE IRRIGAÇÃO


DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/03/2006

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Dr. JOSÉ MONTEIRO SOARES
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária


Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidade de São Paulo

A meus pais Fernando Antonio
Campos e Julieta Baracuy da Cunha
Neta Campos, e ao amigo Alexandre
César (*In Memoriam*), DEDICO.

À amada Clarissa Maria e aos meus
irmãos, Fernanda e Daniel,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus nosso criador, por todas as graças alcançadas em minha vida.

Ao professor Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela orientação e ensinamentos transmitidos, pelo exemplo de conduta profissional e, principalmente, por sua preciosa amizade, confiança e incentivo.

Ao professor Pedro Vieira de Azevedo pela colaboração, incentivo e sugestões apresentadas em todas as partes do desenvolvimento da pesquisa.

Ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Meteorologia, professor Bernardo Barbosa da Silva, por todo o apoio e ajuda durante o curso de mestrado.

A secretária do Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Divanete Cruz, pela atenção e assistência prestada durante o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo e pelo auxílio através do projeto de pesquisa **Eficiência de uso da água em áreas irrigadas com fruteiras na região do Sub-Médio do Rio São Francisco**.

À Embrapa Semi-Árido pela disponibilidade da infra-estrutura utilizada na execução do experimento de campo. Meus especiais agradecimentos aos pesquisadores da Embrapa Dr. José Monteiro Soares e Dra. Magna Soelma Beserra de Moura pelas valiosas contribuições, bem como aos funcionários Roque Antônio e Genival Nunes.

À Empresa Agropecuária Boa Esperança S. A., na pessoa do senhor Ricardo Maia, pela valiosa ajuda disponibilizada para a realização desta pesquisa.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Meteorologia, em especial a Cícera Josefa Rozângela Borges, por toda sua ajuda e empenho na realização deste trabalho. A amiga Josiclêda Dominciano Galvêncio, pelo seu companheirismo e apoio durante a fase experimental.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII
	Pág.
1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. Consumo hídrico de frutíferas	22
2.2. Coeficiente de cultivo (K_c)	23
2.3. Balanço hídrico no solo	26
2.4. Uso eficiente da água em frutíferas	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Localização da área experimental e clima	32
3.2. Características do solo	33
3.3. Cultura estudada	34
3.4. Delineamento experimental	36
3.5. Manejo da irrigação	37
3.6. Coleta de dados e instrumentação utilizada	40

3.7. Balanço hídrico no solo	41
3.8. Evapotranspiração de referência	44
3.9. Eficiência do uso de água	44
3.10. Análise estatística	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Características edafoclimáticas da área experimental	46
4.2. Lâmina d'água aplicada	49
4.3. Teor de água no solo	51
4.4. Balanço hídrico no solo	61
4.5. Componentes de produção do pomar de mangueiras	70
4.6. Eficiência do uso de água	74
5. CONCLUSÕES	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1	Vista da Agropecuária Boa Esperança S.A., com destaque da área experimental (retângulo vermelho), Petrolina – PE, 2005. 33
Figura 3.2	Vista lateral do pomar de mangueiras, durante o estágio fenológico de floração, Petrolina – PE, 2005. 35
Figura 3.3	Vista do dossel do pomar de mangueiras, durante o estágio fenológico de crescimento de frutos, Petrolina – PE, 2005. 35
Figura 3.4	Croqui da área experimental com mangueiras submetida a quatro tratamentos de irrigação com quatro repetições, Petrolina – PE, 2005. 36
Figura 3.5	Curvas dos coeficientes de cultivo adotadas no manejo de irrigação do pomar de mangueiras, Petrolina – PE, 2005. 38
Figura 3.6	Painel de programação para o controle da irrigação, Petrolina – PE, 2005. 39
Figura 3.6	Hidrômetros para medir o volume de água aplicado por planta, Petrolina – PE, 2005. 40
Figura 3.6	Baterias de tensiômetros instaladas sob a copa da mangueira, Petrolina – PE, 2005. 41
Figura 4.1	Lâminas acumuladas de irrigação nos tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005. 50

- Figura 4.2 Curso temporal das lâminas de irrigação aplicadas ao pomar de 51 mangueiras, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.3. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,20 m sob os 52 tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.4. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,40 m sob os 52 tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.5. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,60 m sob os 53 tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.6. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,80 m sob os 53 tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.7. Variação da umidade do solo na profundidade de 1,20 m sob os 54 tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.8. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado 57 ao pomar de mangueiras no tratamento T1. A linha representa a umidade do solo e as barras as lâminas de água aplicada por irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.

- Figura 4.9. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado 57
ao pomar de mangueiras no tratamento T2. A linha representa a
umidade do solo e as barras as lâminas de água aplicada por
irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.10. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado 58
ao pomar de mangueiras no tratamento T3. A linha representa a
umidade do solo e as barras às lâminas de água aplicada por
irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.11. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado 58
ao pomar de mangueiras no tratamento T4. A linha representa a
umidade do solo e as barras as lâminas de água aplicada por
irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.12. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do 59
solo no tratamento T1, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.13. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do 60
solo no tratamento T2, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.14. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do 60
solo no tratamento T3, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.15. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do 61
solo no tratamento T4, Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.16. Comportamento médio diário da evapotranspiração da mangueira 70
obtida pelo método do balanço hídrico no solo na área
experimental, em Petrolina – PE, 2005.

- Figura 4.17. Rendimento do pomar de mangueiras em função da lâmina de 73 irrigação, em Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.18. Frutos por planta em função da lâmina de irrigação aplicada ao 73 pomar de mangueiras, em Petrolina – PE, 2005.
- Figura 4.19. Peso de frutos por planta em função da lâmina de irrigação aplicada 74 ao pomar de mangueiras, em Petrolina – PE, 2005.

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 4.1. Médias mensais climatológicas e desvios-padrão (1975-2005) da temperatura do ar (Ta), precipitação pluvial mensal (Pr), umidade relativa do ar (UR), insolação (n), evaporação do tanque classe “A” (Ev) e velocidade do vento (V) da estação agrometeorológica de Bebedouro.	47
Tabela 4.2. Médias mensais durante o período experimental da temperatura do ar (Ta), precipitação pluvial mensal (Pr), umidade relativa do ar (UR), insolação (n), evaporação do tanque classe “A” (Ev) e velocidade do vento (V), Petrolina – PE, 2005.	47
Tabela 4.3. Dados de textura e umidade do solo à base de massa em capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) da área experimental, Petrolina – PE, 2005.	48
Tabela 4.4. Densidade global e parâmetros da equação de van Genuchten.	49
Tabela 4.5. Lâminas de água aplicadas em cada tratamento de irrigação e a precipitação pluviométrica total durante o período experimental.	49
Tabela 4.6. Valores médios e desvios-padrão da umidade do solo para os quatro tratamentos em cada profundidade, Petrolina – PE, 2005.	56

- Tabela 4.7. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, 63 para o tratamento T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.
- Tabela 4.8. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, 64 para o tratamento T2 (K_{cr}). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.
- Tabela 4.9. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, 65 para o tratamento T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.
- Tabela 4.10. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, 66 para o tratamento T4 (controle). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.11. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do 68 pomar de mangueiras para o tratamento T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.12. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do 68 pomar de mangueiras para o tratamento T2 (K_{cr}) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.13. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do 69 pomar de mangueiras para o tratamento T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.14. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do 69 pomar de mangueiras para o tratamento T4 (controle) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.15. Parâmetros de produtividade do pomar de mangueiras para os 72 tratamentos de irrigação T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$), T2(K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

Tabela 4.16. Eficiência do uso de água no pomar de mangueiras com base nos 75 dados de irrigação (EUA_{ir}) e de evapotranspiração (EUA_{et}), Petrolina – PE, 2005.

RESUMO

O objetivo principal deste estudo foi determinar o coeficiente de cultura mais apropriado e a eficiência do uso da água para um pomar de mangueira cultivada na região do Submédio São Francisco. O experimento foi conduzido na área de produção da Agropecuária Boa Esperança S.A., situada no Km 183 da BR-428, Petrolina, no Estado de Pernambuco (latitude: 09°20'S; longitude: 40°27'W; altitude: 365,5 m). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos de irrigação foram baseados no coeficiente de cultura de referência (K_{cr}) obtido por Silva (2000) como: tratamento T1 ($K_{cr} - 20\%$), tratamento T2 (K_{cr}), tratamento T3 ($K_{cr} + 20\%$) e tratamento T4 (controle). A evapotranspiração do pomar de mangueira foi obtida por meio do método do balanço hídrico no solo e os componentes de produção, tais como produtividade, peso de frutos por planta e número de frutos por planta, também, foram avaliados. A eficiência do uso da mangueira foi obtida com base na evapotranspiração e na irrigação. A umidade do solo foi medida por meio de doze baterias de tensiômetros de mercúrio posicionadas sob o dossel das plantas. As medidas foram realizadas três vezes por semana às 08, 12 e 16 h. A evapotranspiração do pomar de mangueiras, durante o seu ciclo produtivo, apresentou taxas médias de 3,0; 3,2; 3,6 e 4,0 mm.dia⁻¹ mediante os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. As produtividades máxima e mínima foram de 31,1 e 28,1 t ha⁻¹, nos tratamentos T3 e T4, respectivamente. Os resultados também mostraram que os parâmetros de produtividade da mangueira não apresentaram diferença significativa entre aos tratamentos em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Apesar do maior volume de água aplicado ao pomar tenha sido no tratamento T4, ele apresentou a menor produtividade dentre todos os tratamentos de irrigação.

Palavras-chave: Manejo de irrigação, Evapotranspiração, Umidade do solo, Produtividade.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the crop coefficient more appropriate and determine the water use efficiency to mango orchard growth in a region of the middle reaches of the San Francisco river valley. A field experiment was carried out at the production area of the farm “Boa Esperança S.A” which is located at the Km 183 of the BR-428, at Petrolina, Pernambuco state (latitude: 09°20’S; longitude: 40°27’W; altitude: 365.5 m above sea level). Experimental delineation was entirely randomized, with four treatments and four repetitions. The irrigation treatments were established based on the reference crop coefficient (K_{cr}) obtained by Silva (2000) as follows: treatment T1 ($K_{cr} - 20\%$), treatment T2 (K_{cr}), treatment T3 ($K_{cr} + 20\%$) and treatment T4 (control). The mango orchard evapotranspiration was obtained by soil water balance method and the production components such as yield, weight of fruits per plant and number of fruits per plant also were evaluated. It was used both evapotranspiration and irrigation to estimate the water use efficiency of the mango orchard. Soil water pressure suction was measured based on the twelve sets of mercury monometer tensiometers positioned under the canopy of individual trees. Measurements were recorded three times per week at 08:00, 12:00 and 16:00 h. Throughout the mango orchard fruiting cycle the means daily evapotranspiration were 3,0; 3,2; 3,6 and 4,1 mm/day under T1, T2, T3 and T4 treatments, respectively. The maximum and minimum yields were 31.1 and 28.1 t ha⁻¹ under the T1 and T4 treatments, respectively. Results also showed that the productivity parameters of the mango orchard did not have significant difference statistically at 5% significance level by Turkey’s test. Despite its higher water level, the T4 treatment had the lowest yield.

Keywords: Irrigation scheduling; Evapotranspiration; Soil water content; Mango orchard yield

1. INTRODUÇÃO

A irrigação era utilizada na agricultura, de forma rudimentar, por meio da inundação, pelos povos egípcios há mais de 4.000 anos. Atualmente, são utilizadas técnicas modernas de irrigação no manejo de várias culturas, tais como aspersão, pivô central, gotejamento e microaspersão com emissores autocompensantes, que mantêm a vazão constante. No entanto, ainda persiste a questão: *quando e quanto se deve irrigar*. É evidente que o excesso de água aplicado às culturas pode provocar problemas na aeração do solo, perda de água por lixiviação, aumento do consumo de energia e de insumos, enquanto o déficit acarreta prejuízos pela redução da produtividade.

Na elaboração e operacionalização de um projeto de irrigação, um dos fatores de maior importância é a quantificação precisa do volume de água necessário ao desenvolvimento adequado da cultura. Procura-se identificar o momento preciso de irrigar, o sistema de irrigação a ser empregado e a lâmina de água a ser aplicada de forma a atender satisfatoriamente às necessidades hídricas das plantas e proporcionar maior viabilidade econômica da exploração agrícola. Como a agricultura irrigada se apresenta atualmente, como

uma grande alternativa econômica para o Brasil, é necessário que os recursos hídricos disponíveis sejam usados de forma racional, por meio da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos. Assim, de acordo com Moreira (1993), o uso eficiente da água na agricultura irrigada é essencial, o que torna imperativo a utilização de metodologias apropriadas para o planejamento e administração da irrigação. Por essa razão, fica cada vez mais evidenciada a necessidade da combinação correta dos diversos fatores que possibilitam a quantificação do volume de água a ser aplicado ao solo em cada irrigação.

O clima das regiões tropicais favorece a prática de irrigação, com vistas a garantir e aperfeiçoar a produção agrícola, com base no conhecimento das necessidades hídricas de culturas e no dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação. As variáveis hídricas do solo, fatores relacionados à planta e à atmosfera e a profundidade efetiva das raízes são elementos essenciais no planejamento da irrigação. A planta necessita de uma quantidade de água aplicada com frequência adequada, que é determinada por fatores de solo, clima e da própria cultura (Klar, 1991).

O Brasil vem se destacando como um dos maiores exportadores mundiais de frutas tropicais, devido às condições ambientais adequadas para o desenvolvimento dessas espécies, constituindo-se no terceiro produtor mundial de frutos, com uma produção acima de 31 milhões de toneladas, que representa de 6,78% da produção mundial. O Nordeste do Brasil apresenta-se como a principal região produtora de frutíferas, em especial, o pólo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. Essa região compreende uma extensa área irrigada com diferentes espécies de frutíferas entre os Estados de Pernambuco e da Bahia.

A manga tem despertado interesse comercial em vários países, devido a sua grande aceitação nos mercados europeu e americano. Apesar disso, somente há pouco tempo alguns órgãos de pesquisa do país iniciaram o desenvolvimento de programas de melhoramento da mangueira, visando à maximização da produção. Devido à importância econômica que

alcançou nos últimos anos, a manga passou a ser vista como uma alternativa econômica, com boas perspectivas para o Brasil, principalmente para a região Nordeste, cujo cultivo em escala empresarial vem sendo nos últimos dez anos implantado em toda a região do Submédio do rio São Francisco (Cunha et al., 1996).

Nos últimos anos, a manga foi quem mais contribuiu para o aumento das exportações de frutas frescas no país. Em 2001, o Brasil ocupou a nona posição entre os maiores exportadores de manga, com uma produção de 2,15 bilhões de frutos/ano. O pólo de fruticultura irrigada do Submédio rio São Francisco tem a maior densidade do plantio dessa frutífera do país.

O manejo de água adotado para a mangueira, em várias propriedades da região do Submédio do rio São Francisco (pólo Petrolina/Juazeiro), baseia-se em valores adaptados do coeficiente de cultura para frutas cítricas (Silva, 2000). Muitos problemas em cultivos irrigados de mangueiras ocorrem porque os sistemas de irrigação são sub-dimensionados em relação ao período de máxima demanda hídrica (Soares & Costa, 1995). O planejamento de irrigação com base em valores empíricos do coeficiente de cultura reflete nos custos de produção, na qualidade do produto e no rendimento da cultura. Por outro lado, o excesso d'água aplicado às culturas pode provocar salinização do solo e contaminação do lençol freático. Nesse particular, Silva (2000) e Azevedo et al. (2003) desenvolveram pesquisas sobre a mangueira nessa região, dentre outros objetivos, para determinar as necessidades hídricas. Entretanto, apesar da relevância desses estudos, ainda não foi determinado o coeficiente de cultura que pode proporcionar a máxima produtividade e a maior eficiência do uso de água da mangueira cultivada na região do Submédio do rio São Francisco. Essas informações são de extrema relevância para o manejo adequado da mangueira, principalmente nessa região, onde a fruticultura irrigada é responsável por cerca de 16.000 empregos diretos (Lacerda & Lacerda, 2004). Além disso, o uso excessivo de água na irrigação pode

comprometer, no futuro, a regularidade da vazão do rio São Francisco. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou:

(i) *Geral*: Propor uma contribuição ao manejo eficiente da irrigação da mangueira cultivada no semi-árido do Nordeste do Brasil.

(ii) *Específicos*: a) Determinar o coeficiente de cultivo que oferece a maior produtividade da mangueira cultivada na região do Submédio do rio São Francisco e b) Determinar a eficiência do uso da água na mangueira irrigada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consumo hídrico de frutíferas

Na agricultura irrigada é fundamental o conhecimento das necessidades hídricas das culturas. A evapotranspiração e a eficiência do uso de água são objetos de muitas pesquisas, principalmente com vistas ao planejamento da irrigação de diferentes culturas em várias partes do mundo. Esses temas têm sido intensivamente estudados por muitos pesquisadores, sendo alguns deles mencionados a seguir.

A transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera ocorre de forma passiva, em resposta às diferenças de potencial de água no solo. O consumo de água de uma cultura depende diretamente da demanda energética da atmosférica, do conteúdo de água no solo e da capacidade de resistência da planta à perda de água.

A transpiração é essencial para as plantas, pois a água age como solvente e agente transportador de nutrientes pelo floema e xilema, participa das atividades metabólicas, promove o resfriamento dos tecidos vegetais e mantém a turgescência das células, além disso, participa do balanço energético da folha, pela dissipação de calor latente de evaporação

contribuindo para a manutenção da faixa de temperatura da folha adequada aos processos fisiológicos (Klar, 1984). Para a determinação do consumo de água de uma cultura, a água no solo deve estar disponível, isto é, as condições de solo devem ser estabelecidas de forma que o fluxo de água atenda qualquer demanda atmosférica (Pereira et al., 1997). A quantidade de água disponível depende da habilidade das raízes em absorver a água do solo com que estão em contato, bem como das propriedades do solo no fornecimento e na condução dessa água até às raízes em uma proporção que satisfaça às exigências da transpiração. Uma das maneiras mais utilizadas de quantificação do consumo de água é por meio da medida da evapotranspiração.

Segundo Matzenauer (1999), a determinação da evapotranspiração de culturas agrícolas, sem limitação hídrica, é de grande interesse nas pesquisas agronômicas. A evapotranspiração depende da demanda evaporativa da atmosfera, caracterizada pela radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar. Desses elementos, a radiação solar é um dos mais importantes, uma vez que a evapotranspiração é diretamente dependente da disponibilidade de energia e de água no solo.

2.2. Coeficiente de cultivo (K_c)

O consumo hídrico é geralmente representado pelo coeficiente de cultivo (K_c), que é obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o). A ET_c pode ser obtido, dentre outros métodos, pelo balanço hídrico no solo e pelo balanço de energia na interface vegetação-atmosfera (Silva, 2000). Ela também pode ser mediada diretamente por lisímetros ou evapotranspirômetros. Já a evapotranspiração referência (ET_o) é normalmente estimada por equações empíricas, com base nos dados obtidos nas estações meteorológicas.

Com intuito de definir as necessidades hídricas das culturas, muitos autores têm pesquisado sobre o K_c para determinar a demanda hídrica de cada cultura (Doorenbos & Kassan, 1979; Azevedo et al., 1993; Teixeira et al., 1999). Para Mokate et al. (1995), a relação entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação é mais eficaz que o coeficiente de cultura para indicação da demanda hídrica.

Azevedo et al. (1993) constataram que o coeficiente da cultura pode ser superior à unidade, no período fenológico de maior consumo hídrico da cultura. Seguindo a mesma linha de pesquisa, Bezerra & Oliveira (1999), estudando a cultura da melancia, obtiveram ET_m (evapotranspiração máxima), e a ET_o pelo método de Penman-Monteith e determinaram o K_c dessa cultura, nos seus diferentes estádios fenológicos. Eles encontraram valores médios de K_c para cada fase de desenvolvimento superior àqueles sugeridos pela FAO, sendo a fase de maior demanda hídrica a de enchimento de frutos. A evapotranspiração para todo o do período estudado foi de 619,6mm.

Teixeira et al. (1999) utilizou dados de saldo de radiação, gradientes verticais de temperatura do ar e pressão de vapor e fluxo de calor no solo, para determinar a ET_c em videira, baseado no balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB) e calculou a ET_o pelo método de Penman-Monteith e pelo do tanque classe “A”. Eles obtiveram o K_c para as fases fenológicas da videira na região do Submédio do rio São Francisco. Também observaram que o consumo hídrico durante todo o ciclo de produção da cultura foi em torno de 503 mm, com o coeficiente da cultura variando entre 0,65 e 1,15, mostrando-se superiores aos valores recomendados pela FAO.

Pereira & Allen (1997) desenvolveram uma metodologia, usando processos numéricos adaptando correções aos efeitos do clima baseados nas características da planta, para a representação mais segura e consistente do K_c , de uma mesma cultura em diferentes

locais. Esse procedimento foi realizado para o coeficiente de cultura nas fases inicial, de maturação (fase intermediária) e colheita de frutos (fase final).

Evans et al. (1993) encontraram coeficiente da cultura para videira adulta usando o tanque classe “A”, no cálculo da evapotranspiração de referência, e o lisímetro para evapotranspiração da cultura. Os coeficientes usados no manejo da irrigação da videira sobreestimaram os valores obtidos na pesquisa. Eles atribuem essa diferença ao sistema de irrigação adotado, variedades distintas, variação das práticas culturais, do tamanho do dossel da planta e às propriedades do solo.

Doorenbos & Kassam (1979), estudando os efeitos da água no rendimento de cultivos, apresentaram os coeficientes de cultura médios, nos seguintes estádios de desenvolvimento: estabelecimento da cultura de 0,4 – 0,5; desenvolvimento de 0,7 – 0,8; intermediário de 0,95 – 1,05; final de 0,80 – 0,90 e na colheita de 0,65 – 0,75. De modo geral, as necessidades hídricas das culturas variam de 500 a 1200 mm dependendo do clima, solo, variedade e manejo cultural.

Bezerra et al. (1997) definiram o coeficiente de cultura para aceroleira, pelo método do balanço hídrico no solo e o de Penman-Monteith para os cálculos da ET_c e ET_o , respectivamente. Eles constataram que os valores sugeridos por Doorenbos & Kassam (1979) não devem ser aplicados devido às condições climáticas e a variabilidade das propriedades físicas do solo.

De acordo com Angelocci (2000) o coeficiente de cultura é um fator importante na determinação do consumo de água ideal para a frutífera durante todo o seu ciclo, constituindo-se num elemento imprescindível para o manejo racional da irrigação. Ainda segundo o autor, o K_c depende do estágio fenológico da cultura, do sistema de irrigação utilizado, da densidade de plantio e das condições atmosféricas predominantes.

2.3. Balanço hídrico no solo

Na contabilidade hídrica, o solo funciona como reservatório de água, cujo nível de armazenamento depende das entradas e saídas de água. O movimento cíclico da água começa com a infiltração no solo, continua com o seu armazenamento temporário na região do sistema radicular e termina com a sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (Hillel, 1970).

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma informação relevante nos estudos agrícolas, em especial na avaliação da produtividade das culturas. Para prover as disponibilidades hídricas no solo, necessárias à agricultura não basta considerar os dados pluviométricos do período. Eles correspondem apenas ao processo de suprimento de água natural para o uso das plantas. É necessário considerar, também, os processos de perda de água do solo para a atmosfera, obtidas pelo balanço hídrico no solo (Camargo, 1987). Esse método tem sido comumente utilizado na estimativa da evapotranspiração de culturas, em especial em frutíferas (Silva, 2000; Azevedo et al., 2003; Sousa, 2005; Moura, 2005).

Silva (2000) determinou o coeficiente de cultura para a mangueira irrigada no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, utilizando os métodos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia. Os resultados mostraram taxas de evapotranspiração média no ano de 1998 da ordem de $4,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ pelo método do balanço hídrico no solo e de $4,4 \text{ mm.dia}^{-1}$ pelo método do balanço de energia durante o ciclo produtivo da mangueira. Entretanto, no segundo ciclo produtivo, realizado no ano de 1999, o autor encontrou taxas de evapotranspiração média de $3,5$ e $4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$, pelos métodos do balanço hídrico e balanço de energia, respectivamente.

Azevedo et al. (2003) em pesquisa realizada em um pomar de mangueiras irrigadas no semi-árido do Vale do Submédio do rio São Francisco, aplicaram o balanço hídrico no solo

(BHS) com o objetivo de se obter a ET_c . Os resultados mostraram que a ET_c aumentou de 3,1 $mm.dia^{-1}$ para 6,7 $mm.dia^{-1}$, no final do estágio de formação dos frutos e, logo depois, reduziu para 3,5 $mm.dia^{-1}$, na última semana de maturação dos frutos. Durante todo o ciclo produtivo da mangueira, o consumo hídrico foi em torno de 555,0 mm, com evapotranspiração média diária de 4,4 $mm.dia^{-1}$. Esses resultados foram comparados com a evapotranspiração determinada pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen para o mesmo período. Foi observado uma grande semelhança com ET_c obtido com base no método do balanço hídrico

Sousa (2005) conduziu experimento de campo para estimar a evapotranspiração do coqueiro anão-verde cultivado nos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe, com base no método do balanço hídrico no solo, no período de janeiro a dezembro de 2003. Foram utilizados três tratamentos de irrigação: 50, 100 e 150 litros de água por planta por dia. Os resultados desse trabalho indicaram que as taxas de evapotranspiração média do coqueiro foram de 2,5; 2,9 e 3,2 $mm.dia^{-1}$, nos tratamentos com 50, 100, e 150 litros de água por planta por dia, respectivamente.

Moura (2005) realizou experimento para determinar o coeficiente de cultivo da goiabeira, também, cultivada na região do Submédio São Francisco. A evapotranspiração de referência foi obtida pelo método de Penman-Monteith (FAO) e a evapotranspiração da cultura usando-se as metodologias do balanço de energia com base na razão de Bowen e do balanço hídrico no solo. O valor médio da ET_c no ciclo de produção da goiabeira pelos métodos do balanço de energia e balanço hídrico no solo foram, 5,3 e 6,0 $mm.dia^{-1}$, respectivamente.

Os componentes do balanço hídrico num volume de controle de solo (precipitação, irrigação, evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem/ascensão capilar e variação do armazenamento de água no solo) são apresentados numa forma integral ou diferencial numa

equação geral de balanço de massa. Atualmente, ênfase tem sido dada à disponibilidade de água no solo relacionada com elementos climáticos e com o desenvolvimento vegetal. A disponibilidade de água no solo não se baseia apenas em dados de precipitação pluvial, mas também é necessário levar em conta as perdas de água no solo para a atmosfera, que se verificam normalmente pela perda de água por evaporação mais transpiração vegetal (Andreatta, 1990).

No estudo da dinâmica de água no solo é fundamental o conhecimento da umidade e dos potenciais da água no solo. A umidade é apenas um índice que quantifica a água contida no solo, enquanto que os potenciais da água dizem respeito aos diferentes tipos de energia potencial que atuam no sistema e podem dar indicação de como a água se encontra no solo (Libardi, 1995).

A precisão do método do balanço hídrico no solo depende da precisão com que são medidos os componentes da equação de conservação de massa. A maior dificuldade reside na determinação da drenagem profunda ou ascensão capilar. A vantagem desse método, quando comparado com os outros que utilizam medições agrometeorológicas acima da superfície, é a facilidade de obtenção e processamento dos outros dados (precipitação, irrigação e variação do armazenamento de água no solo). As principais desvantagens são as seguintes: menor nível de precisão e as dificuldades de obtenção da evapotranspiração nos períodos chuvosos. Esse método não é apropriado para estimativas de evapotranspiração em base diária, porém, se a drenagem profunda for bem avaliada, o método é aceitável para intervalos de dois ou três dias. Segundo Silva (2000), o método do balanço hídrico no solo mostrou-se eficiente na determinação da evapotranspiração de pomar de mangueiras quando aplicado para períodos de sete dias. Segundo esse autor, para períodos inferiores a uma semana, as medições tensiométricas podem não refletir efetivamente o volume de água armazenado no solo. Isso se deve ao fato da resposta lenta dos tensiômetros, em virtude do tempo necessário para que a

cápsula porosa do instrumento entre em equilíbrio com o solo. Além disso, os tensiômetros não acusam variações de umidade quando o teor de água no solo está abaixo de 80% da capacidade de campo. Quando é aplicado em grandes áreas, o maior problema não é propriamente o método, mas a falta de uma boa representatividade devido à variação espacial das chuvas e a falta de homogeneidade na topografia do terreno.

2.4. Uso eficiente da água em frutíferas

O conhecimento da eficiência do uso de água (EUA) pelas culturas é essencial em regiões áridas e semi-áridas, onde a disponibilidade de recursos hídricos é escassa. No contexto da agrometeorologia, a EUA é obtida pela relação entre a produtividade de biomassa ou produtividade comercial e a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura.

Simsek et al. (2004) e Zhang et al. (2004) obtiveram EUA pela relação entre a produção comercial e a evapotranspiração da cultura, enquanto Aujla et al. (2005) utilizaram a relação entre a produtividade e o total de água aplicado (irrigação + precipitação). Por outro lado, Sousa et al. (2000) determinaram a EUA de duas formas: (i) pela relação entre produtividade comercial e a lâmina de água aplicada; (ii) pela relação entre produtividade comercial e evapotranspiração da cultura. Esses estudos mostraram que a EUA é uma importante ferramenta auxiliar no planejamento da irrigação de culturas.

Em agricultura irrigada, o aumento e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexas e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares. Existem vários meios para se aumentar a EUA, dentre os quais se destaca o manejo adequado de irrigação (Dinar, 1993). O aumento da eficiência do uso da água em agricultura irrigada também tem sido obtido por meio da irrigação com alta frequência e baixo volume de água aplicado (Srinivas et al., 1989). Esses autores constataram que a EUA máxima foi obtida com irrigação

por gotejamento, quando as lâminas de água foram aplicadas com base em 25% da evaporação do tanque classe “A”, devido ao pequeno estresse imposto e ao baixo decréscimo na produtividade, quando comparada com a alta redução no uso da água. Resultados semelhantes foram obtidos por Lin et al. (1983), que verificaram valores elevados de EUA sob baixo regime de irrigação em tomateiro.

Quando a eficiência do uso da água é determinada a partir da quantidade de água aplicada, Dinar (1993) e Letey (1993) destacaram a sua redução, porém, sem diminuição da produtividade, como forma de aumentar a EUA. Nesse aspecto, a escolha do sistema de irrigação e a redução do período de irrigação no ciclo da cultura são pontos importantes (Dinar, 1993; Richards et al., 1993). Nessa linha de pesquisa, Ritshel et al. (1994) elevaram a EUA com a suspensão antecipada da irrigação.

As necessidades hídricas de frutíferas, em face do seu grande valor nutritivo e comercial, têm sido estudadas em várias partes do mundo. Algumas dessas pesquisas têm procurado determinar o manejo de irrigação ideal para a maximização da produtividade. Nesse particular, Strabbioli (1985), baseado em quatro valores de coeficiente de cultura (0,33; 0,66; 1,00 e 1,33), aplicou o volume de água de 4,0 l/h na irrigação do morangueiro. Para um coeficiente de cultivo $K_c = 1,0$, a lâmina d'água aplicada gerou aumento na produção de frutos, de 345 para 554 g/planta, e do peso do fruto de 7,6 para valores entre 8,5 e 10,4g. Oliveira et al. (1993) aplicaram cinco tratamentos de irrigação na bananeira, com coeficientes de cultura de 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 e testemunha sem irrigação. Os resultados indicaram a maior produtividade da bananeira com um coeficiente de cultura de 0,60. Sepaskhah & Kashefipour (1995), ao determinar o coeficiente de cultura da lima-doce, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento, obtiveram um coeficiente de cultura da ordem de 1,17, bastante superior ao valor de 0,75 sugerido para frutas cítricas por Doorenbos & Kassam (1979). Outras pesquisas têm apenas determinado o requerimento hídrico das culturas sem, contudo,

validá-los com a produtividade. Dentre essas culturas, destacam-se: videira (Evans et al., 1993); laranjal (Castel, 1994); morangueiro (Clark et al., 1996); pessegueiro (Ferreira et al., 1996); oliveira (Michelakis *et al.*, 1996); aceroleira (Bezerra *et al.*, 1997); mangueira (Silva, 2000 e Azevedo et al., 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental e clima

Este estudo foi desenvolvido em um pomar de mangueiras (*Mangífera indica* L.), variedade ‘Tommy Atkins’, localizado na Empresa Agropecuária Boa Esperança S.A. (latitude: 9° 20’S, longitude: 40°27’O, altitude: 365,5 m), Km 183 da BR-428, próxima à área urbana da cidade de Petrolina, Estado de Pernambuco. A Figura 3.1 exibe a vista aérea da área experimental.

Segundo a classificação climática de Köppen, a região de estudo apresenta clima do tipo BSW_h, semi-árido, com valores médios anuais das seguintes variáveis climatológicas: temperatura do ar = 26,5 °C, precipitação pluvial = 541,1 mm, umidade relativa do ar = 65,9%, evaporação do tanque classe “A” = 2.500 mm.ano⁻¹ e velocidade do vento = 2,3 m.s⁻¹. A precipitação é irregularmente distribuída no espaço e no tempo, concentrando-se nos meses de dezembro a abril. A insolação anual nessa região é superior a 3.000 h e o solo predominante é classificado como Areia Quartzênica (Azevedo et al., 2003).



Figura 3.1. Vista da Agropecuária Boa Esperança S.A., com destaque da área experimental (retângulo vermelho), Petrolina – PE, 2005.

3.2. Características do solo

A análise das características físicas e químicas do solo da área experimental foi realizada com base em amostras indeformadas de solo, coletadas a partir de trincheiras abertas no interior da parcela experimental nas camadas de solo: 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,20 m, em três repetições. Essas amostras foram utilizadas para determinação da densidade global, textura e da curva de retenção de água no solo. A condutividade hidráulica do solo foi determinada com base em amostras coletadas nas camadas: 0,60-0,80; 0,80-1,20 m, também, com três repetições. Essas análises foram determinadas no Laboratório de Solos da Embrapa Semi-Árido.

3.3. Cultura estudada

A pesquisa foi conduzida em uma área cultivada com mangueiras, variedade ‘Tommy Atkins’, implantada em junho de 1993, no espaçamento 10 m x 5 m, totalizando 200 plantas por hectare, cuja área total é de aproximadamente 200 ha. O estudo foi realizado numa parcela com 3.200 m², com 64 plantas, sob irrigação por microaspersão, utilizando um emissor por planta, com vazão de 60 l.h⁻¹.

A coleta de dados ocorreu durante o ciclo reprodutivo do mangueiral, no período de abril a agosto de 2005. Durante o período experimental foram mantidas as práticas culturais comumente realizadas pela empresa, tais como adubação, roçagem, capinas e combate de pragas e doenças.

Neste trabalho foram analisados os estádios fenológicos da mangueira de acordo com os seguintes períodos estabelecidos por Soares et al. (1998): floração: 20 dias; queda de frutos: 40 dias; formação de frutos: 50 dias e maturação de frutos: 10 dias. Assim, neste estudo os estádios fenológicos da mangueira compreenderam os seguintes períodos do ano de 2005: floração - 17 de abril a 07 de maio; queda de frutos - 08 de maio a 17 de junho; formação de frutos - 18 de junho a 07 de agosto e maturação de frutos - 08 a 18 de agosto. As colheitas foram realizadas nos dias 01, 02, 27 e 28 de agosto de 2005. Nas Figuras 3.2 e 3.3 são apresentados os estádios fenológicos correspondentes à floração e ao crescimento de frutos, respectivamente.



Figura 3.2. Vista lateral do pomar de mangueiras durante o estágio fenológico de floração, Petrolina – PE, 2005.



Figura 3.3. Vista do dossel do pomar de mangueiras durante o estágio fenológico de crescimento de frutos, Petrolina – PE, 2005..

3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, compreendendo quatro tratamentos de irrigação com quatro repetições. A área experimental foi dividida em 16 parcelas, contendo quatro plantas por parcela, totalizando, 64 plantas. Em cada parcela foi aplicado um tratamento diferente de irrigação, designados como T1, T2, T3 e T4, como especificados na Seção 3.5. A Figura 3.4 apresenta o croqui da área experimental com os quatro tratamentos de irrigação e as quatro repetições.

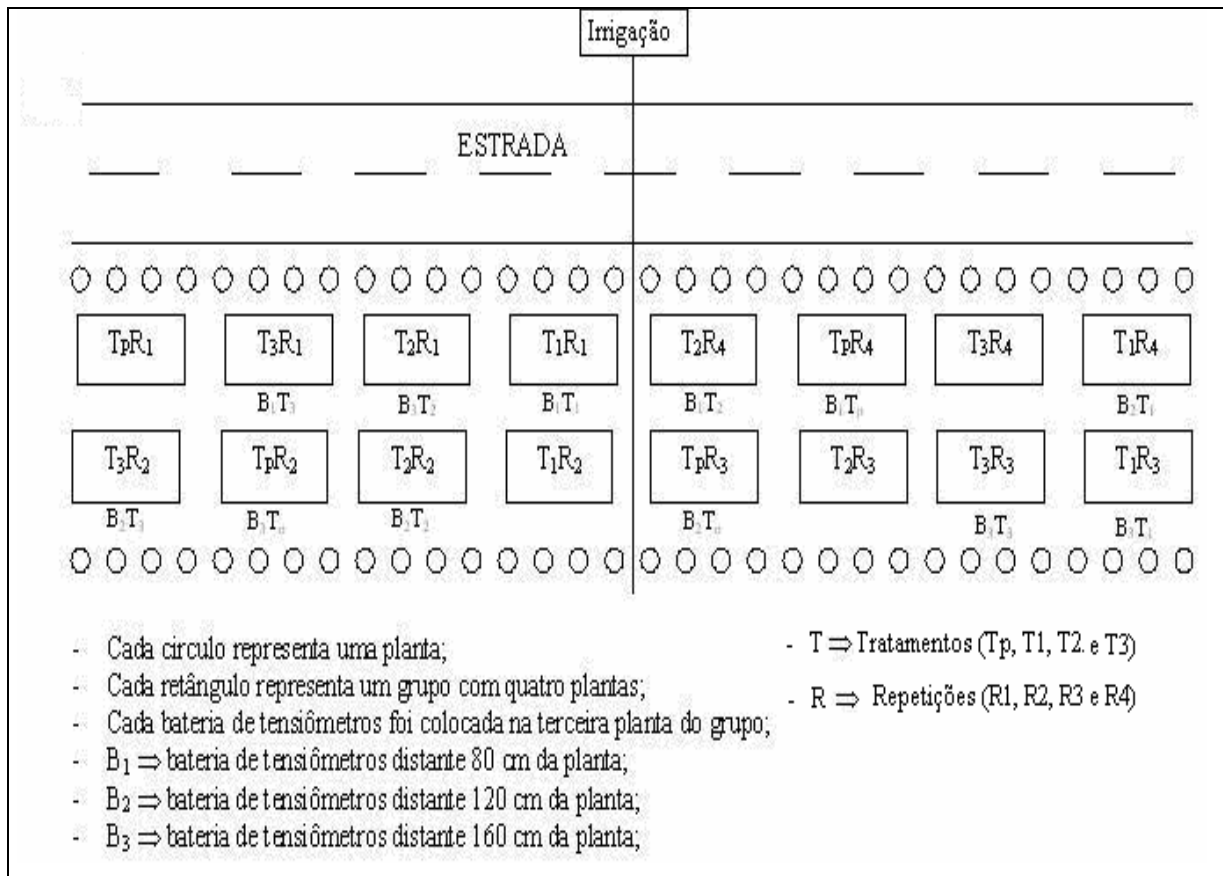


Figura 3.4. Croqui da área experimental com mangueiras submetidas a quatro tratamentos de irrigação com quatro repetições, Petrolina – PE, 2005.

3.5. Manejo de irrigação

No manejo da irrigação foi utilizada a curva de coeficiente de cultivo da mangueira obtido por Silva (2000), ou seja:

$$K_{cr} = 0,36 + 0,009(DAF) - 4 \times 10^{-5} (DAF)^2 \quad (3.1)$$

em que K_{cr} é o coeficiente de cultura de referência e DAF é o número de dias após o início da floração da mangueira. Foram utilizados quatro tratamentos de irrigação, sendo três obtidos em função da Eq. (1) e um outro tratamento controle correspondente ao manejo de água adotado pelo produtor, definidos da seguinte forma:

Tratamento 1 (T1): ($K_{cr} - 20\%$);

Tratamento 2 (T2): K_{cr} ;

Tratamento 3 (T3): ($K_{cr} + 20\%$).

Tratamento 4 (T4): Manejo adotado pelo produtor (Controle)

O tratamento controle (T4) é baseado na média semanal da evaporação do tanque classe “A”, que consiste no manejo de irrigação adotado pelo produtor, com frequência de irrigação diária. A Figura 3.5 exibe as curvas do coeficiente de cultivo que foram utilizadas no manejo de irrigação da mangueira em todos os seus estádios fenológicos, em conformidade com o modelo obtido por Silva (2000).

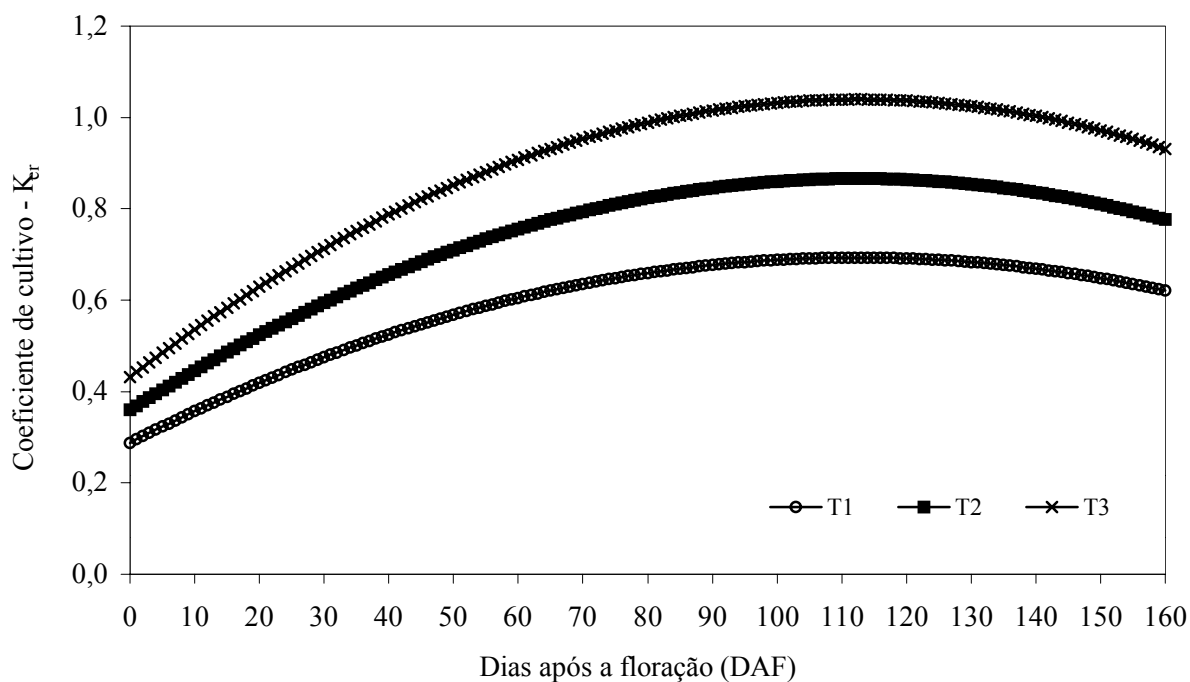


Figura 3.5. Curvas dos coeficientes de cultivo adotadas no manejo de irrigação do pomar de mangueiras, Petrolina – PE, 2005.

O tempo necessário para aplicar cada lâmina de irrigação foi determinado da seguinte forma:

$$T_i = \frac{V_a}{q} \quad (3.2)$$

em que T_i é o tempo de irrigação (h, min), V_a é o volume de água aplicado à cultura (l), q é a vazão dos microaspersores (l/h). Por outro lado, o volume de água a ser aplicado por planta foi determinado com base na seguinte expressão:

$$V_a = \frac{K_c \cdot ET_o \cdot A_p}{E_f} \quad (3.3)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm), obtida diretamente por meio de uma estação automática, K_c é o coeficiente de cultura, de acordo com os tratamentos utilizados, A_p é a área máxima ocupada pela planta (m^2), que foi de $27,37 m^2$ e E_f é a eficiência de aplicação

do sistema de irrigação, obtida através de testes realizados na área experimental, com valor de 0,85. A frequência de irrigação utilizada foi diária, controlada através de um painel de programação da irrigação (Figura 3.6) e medida através de hidrômetro instalado em cada tratamento (Figura 3.7). O valor do volume de água a ser aplicado no tratamento T4 era fornecido diariamente pelo técnico responsável pela irrigação nesta fazenda.



Figura 3.6. Painel de programação para o controle da irrigação, Petrolina – PE, 2005.



Figura 3.7. Hidrômetros para medir o volume de água aplicado por planta, Petrolina – PE, 2005.

3.6. Coleta de dados e instrumentação utilizada

Na área experimental foram instaladas doze baterias de tensiômetros sob a copa das plantas e dentro da área molhada por planta, sendo três para cada subparcela, nas distâncias de 0,80 m; 1,20 m e 1,60 m em relação ao caule da planta. Cada uma dessas baterias era constituída por cinco tensiômetros de mercúrio, as quais foram posicionadas nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,20 m, cujas leituras foram realizadas três vezes por semana, às 08, 12 e 16h (Figura 3.6)



Figura 3.8. Baterias de tensiômetros instaladas sob a copa da mangueira, Petrolina – PE, 2005.

3.7. Balanço hídrico no solo

A evapotranspiração do pomar de mangueiras foi determinada pelo método do balanço hídrico no solo (BHS), expresso da seguinte forma (Libardi, 1995):

$$ET_c = P + I + A - D \pm \Delta W - R \quad (3.4)$$

em que ET_c é a evapotranspiração real da cultura; P a precipitação pluviométrica; I a lâmina de irrigação; A a ascensão capilar; D a drenagem profunda; ΔW a variação da lâmina de água disponível no solo e R o escoamento superficial. Todos os componentes dessa equação são expressos em $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$. O escoamento superficial foi considerado nulo, visto que a topografia do terreno era plana, P foi monitorada com um pluviômetro instalado na área, I foi medida por

meio de hidrômetros e ΔW com base no perfil de umidade do solo. O volume de controle considerado para elaboração do balanço hídrico corresponde à camada de solo compreendida entre a superfície e a profundidade efetiva do sistema radicular. A partir de três trincheiras abertas no interior da parcela, foi observado que o sistema radicular concentrava-se na camada entre a superfície e 1,20 m de profundidade.

O fluxo vertical descendente (D) ou ascendente (A), cruzando o limite inferior do volume de controle, foi obtido pela equação de Darcy-Buckingham como:

$$D/A = - \left[K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial Z} \right] \quad (3.5)$$

em que $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica média do solo (capacidade do solo em transferir água, em cm d^{-1}), ϕ_t é o potencial total de água no solo (cm) e Z (cm) é a coordenada vertical.

O potencial total de água no solo (ϕ_t) foi obtido pela equação:

$$\phi_t = \phi_m + \phi_g \quad (3.6)$$

em que ϕ_m é o potencial matricial e ϕ_g é o potencial gravitacional, ambos expressos em centímetros de coluna de água (cca). O potencial matricial foi determinado por meio das medições tensiométricas realizadas em campo utilizando-se a seguinte equação:

$$\phi_m = (-12,6h_{Hg} + h_c + h_p) \quad (3.7)$$

em que h_{Hg} corresponde a altura da coluna de mercúrio (cm), a partir do nível da cuba; h_c é a altura do nível da cuba em relação à superfície do solo (cm) e h_p é a profundidade da cápsula porosa (cm).

A condutividade hidráulica para o solo não-saturado $K(\theta)$ foi determinada de acordo com a seguinte equação (van Genuchten, 1980):

$$K(\theta) = K_o Se^l \left[1 - \left(1 - Se^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (3.8)$$

em que K_o é a condutividade hidráulica do solo saturado, obtida em laboratório; l um parâmetro empírico que, segundo Mualem (1976), é igual a 0,5 para a maioria dos solos; Se a saturação efetiva dada por:

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3.9)$$

em que θ é a umidade volumétrica; θ_s a umidade volumétrica no momento da saturação; θ_r a umidade volumétrica residual. Assim, o conteúdo de umidade no solo foi obtido pela expressão (van Genuchten, 1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \phi_m|^n \right]^m} \quad (3.10)$$

em que θ_s e θ_r , como definidas anteriormente, são expressas em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, ϕ_m é o potencial matricial (cm de água), e α , n e m , são constantes a partir da curva de retenção da água no solo. O armazenamento de água no solo (W), em mm, durante um dado intervalo de tempo foi calculado usando-se a seguinte equação:

$$W_t = \int_0^L \theta(z) dz = \bar{\theta} L \quad (3.11)$$

em que $\bar{\theta}$ é a umidade do solo média até a profundidade considerada ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) e L a espessura da camada de solo (cm). Durante o intervalo de tempo considerado, a variação do armazenamento de água no solo (ΔW), expressa em cm, foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$\Delta W = W_t - W_{t-1} \quad (3.12)$$

em que ΔW_t e ΔW_{t-1} representam os armazenamentos de água no perfil do solo nos instantes t e $t-1$, respectivamente.

3.8. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi obtida a partir de uma estação automática instalada no campo experimental de Bebedouro, pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, localizada próximo à área experimental, utilizando a fórmula de Penman-Monteith (Allen et al., 1998)

3.9. Eficiência do uso de água

Neste estudo, a eficiência do uso de água foi avaliada com base na produtividade total da mangueira em relação a quantidade de água aplicada pela irrigação e a evapotranspiração, por meio das seguintes equações:

$$EUA_{ir} = \frac{\text{Prod.}}{\text{Irrig}} \quad (3.13)$$

$$EUA_{et} = \frac{\text{Prod.}}{ET_c} \quad (3.14)$$

em que EUA_{ir} e EUA_{et} são as eficiências do uso de água baseadas na irrigação e evapotranspiração, respectivamente, (Kg ha mm^{-1}); Prod. é a produtividade da mangueira (Kg ha); Irrig. é a irrigação (mm) e ET_c é a evapotranspiração do pomar de mangueiras (mm).

Dessa forma, com base nos tratamentos de irrigação, foi determinada a produtividade de cada tratamento e obtida a relação entre a produtividade e coeficiente de cultura, com vistas à obtenção do modelo indicador do maior rendimento desta cultura.

3.10. Análise Estatística

Análise de variância (ANOVA) foi aplicada para testar se houve diferença significativa entre as produtividades da mangueira, obtidas com base nos quatro tratamentos de irrigação. O teste de Tukey foi utilizado para avaliar a significância estatística dessas diferenças, em níveis de probabilidade de 1 e 5%. A análise estatística foi conduzida usando o “software” Assistat (Silva, 1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características edafoclimáticas da área experimental

Na Tabela 4.1 são apresentadas as médias mensais e os desvios-padrão (1975 a 2005) das principais variáveis climatológicas coletadas na estação agrometeorológica de Bebedouro, Petrolina, PE. Por outro lado, as médias mensais, durante o período experimental, da temperatura do ar, umidade relativa do ar, insolação, evaporação do tanque classe “A”, velocidade do vento e o total mensal de precipitação pluvial encontram-se na Tabela 4.2. Os valores médios mensais das variáveis climatológicas durante o período experimental, foram menores do que a média climatológica, exceto para a umidade relativa. Entretanto, os totais da precipitação pluvial nos meses de março, maio e junho de 2005 foram maiores (22,8; 59,5 e 69,5%) do que às suas médias climatológicas. Durante o período experimental a temperatura média do ar foi 1,0 °C menor do que a média climatológica, a umidade relativa do ar variou entre 58 a 77% e a evaporação do tanque classe "A" entre 150 e 231 mm.mês⁻¹.

Tabela 4.1. Médias mensais climatológicas e desvios-padrão (1975-2005) da temperatura do ar (Ta), precipitação pluvial (Pr), umidade relativa do ar (UR), insolação (n), evaporação do tanque classe “A” (Ev) e velocidade do vento (V) da estação agrometeorológica de Bebedouro.

Mês	Ta (°C)	Pr (mm)	UR (%)	N (h)	Ev (mm/dia)	V (Km/dia)
Março	26,3 ± 1,2	128,0 ± 98,5	72 ± 6	7,0 ± 1,0	6,4 ± 1,0	136,0 ± 39,1
Abril	26,0 ± 1,1	64,3 ± 46,9	73 ± 9	7,2 ± 1,0	6,2 ± 1,0	147,8 ± 29,8
Maio	25,4 ± 1,3	22,6 ± 25,9	71 ± 9	6,7 ± 1,2	6,0 ± 1,1	168,2 ± 37,5
Junho	24,3 ± 1,1	12,2 ± 14,4	70 ± 7	6,6 ± 0,8	6,0 ± 0,9	208,6 ± 34,8
Julho	23,9 ± 1,0	8,4 ± 12,8	68 ± 9	6,8 ± 1,0	6,5 ± 0,9	234,0 ± 37,6
Agosto	24,6 ± 1,0	3,7 ± 5,1	63 ± 7	8,0 ± 0,9	7,9 ± 0,7	252,4 ± 20,5
Média	25,1 ± 1,1	-	70 ± 8	7,0 ± 1,0	6,5 ± 0,9	192,2 ± 33,2
Total	-	239,2	-	-	-	-

Tabela 4.2. Médias mensais durante o período experimental da temperatura do ar (Ta), precipitação pluvial mensal (Pr), umidade relativa do ar (UR), insolação (n), evaporação do tanque classe “A” (Ev) e velocidade do vento (V), Petrolina – PE, 2005.

MÊS	Ta (°C)	Pr (mm)	UR (%)	N (h)	Ev (mm.dia ⁻¹)	V (Km.dia ⁻¹)
Março	25,6	165,9	73,0	6,7	6,1	107
Abril	24,9	31,9	73,0	7,2	5,8	123,8
Maio	24,1	55,8	77,0	4,3	5,0	142,2
Junho	23,6	40,0	69,0	5,7	5,8	136,8
Julho	22,7	2,6	68,0	6,0	6,5	220,7
Agosto	23,9	6,2	58,0	7,1	7,7	205,4
Média	24,1	-	69,7	6,2	6,2	156,0
Total	-	302,4	-	-	-	-

A análise de solo da área experimental indicou tratar-se de um solo de textura arenosa, com média de 89,3 % de areia, 4,1 % de silte e 6,3 % de argila no perfil desde a superfície até 1,2 m de profundidade. A umidade média do solo à base de volume foi de 0,126 cm³cm⁻³ em capacidade de campo (0,06 atm) e de 0,044 cm³cm⁻³ no ponto de murcha permanente (15 atm) (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Dados de textura e umidade do solo à base de massa em capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) da área experimental, Petrolina – PE, 2005.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Umidade do solo (cm ³ .cm ⁻³)	
	Areia	Silte	Argila	CC	PMP
0-20	91,5	5,0	3,5	0,140	0,059
20-40	89,5	5,5	5,0	0,134	0,043
40-60	89,5	5,0	5,5	0,128	0,043
60-80	89,0	2,0	9,0	0,112	0,037
80-120	87,0	3,0	10,0	0,112	0,039
Média	89,3	4,1	6,3	0,126	0,044

Na Tabela 4.4 são exibidos a condutividade hidráulica (K_o), a densidade global do solo (D_g) e os coeficientes das funções paramétricas de retenção de água no solo de van Genuchten (1980), no perfil do solo entre 0 a 1,20 m. Entre as camadas de 0,60-0,80 m e de 0,80-1,20 m de profundidade, a condutividade hidráulica do solo variou de 10,45 a 31,40 mm.h⁻¹, respectivamente. Esse resultado sugere que o solo da área experimental apresenta baixíssima capacidade de retenção de água na região das raízes. A densidade global do solo variou do valor mínimo de 1,51 g.cm⁻³ na camada de 0-0,20 m um ao valor máximo de 1,60 g.cm⁻³ na camada de 0,20-0,40 m.

Tabela 4.4. Densidade global e parâmetros da equação de van Genuchten.

Profundidade (m)	D_g (g.cm⁻³)	K_o (mm.h⁻¹)	N	α (kPa⁻¹)	M	θ_s (cm³.cm⁻³)	θ_r (cm³.cm⁻³)
0-0,20	1,51	-	1,5208	3,0147	0,3425	0,4288	0,0585
0,20-0,40	1,60	-	1,6818	1,1926	0,4054	0,3954	0,0436
0,40-0,60	1,58	-	1,6434	1,5626	0,3915	0,4021	0,0426
0,60-0,80	1,54	10,45	1,6416	2,0547	0,3908	0,4203	0,0365
0,80-1,20	1,54	31,40	1,6481	2,0478	0,3932	0,4196	0,0386

4.2. Lâmina d'água aplicada

Na Tabela 4.5 encontram-se as quantidades de água aplicada pela irrigação para cada tratamento e a precipitação pluviométrica total ocorrida no período analisado. A lâmina total de irrigação aplicada variou entre o valor mínimo de 365,6 mm no tratamento T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$) ao valor máximo de 548,9 mm no tratamento T4 (controle), enquanto a precipitação pluvial no período foi 154,4 mm. Assim, a lâmina de água aplicada no tratamento T1, T2 e T3 representaram 66,6; 75,2 e 87,1%, em relação ao tratamento controle (T4).

Tabela 4.5. Lâminas de água aplicadas em cada tratamento de irrigação e a precipitação pluviométrica total durante o período experimental.

Tratamento	Lâmina (mm)		Lâmina total (mm)
	Irrigação	Precipitação pluvial	
T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$)	365,65	154,44	520,09
T2 (K_{cr})	413,06	154,44	567,50
T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$)	478,03	154,44	632,47
T4 (controle)	548,94	154,44	703,38

Na Figura 4.1 são apresentadas as lâminas de irrigação acumuladas para cada tratamento, mostrando que o maior volume de água aplicado pela irrigação deu-se no tratamento T4.

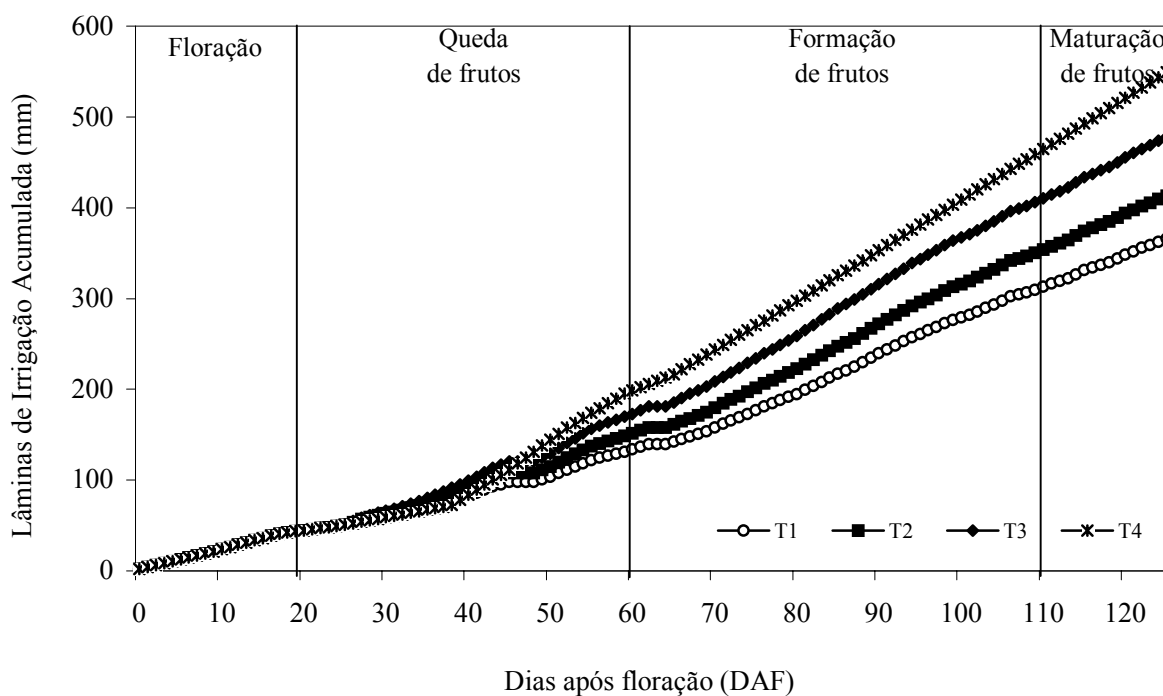


Figura 4.1. Lâminas acumuladas de irrigação nos tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle) durante o período experimental, Petrolina – PE, 2005.

Na Figura 4.2 observa-se o curso diário das lâminas de irrigação desde a floração da mangueira até o final do estágio de maturação de frutos. No período compreendido entre o primeiro e o vigésimo sexto dia após a floração (DAF) foi aplicado o mesmo volume de água para todos os tratamentos (tratamento T4) em face de problemas operacionais com o sistema de controle da irrigação.

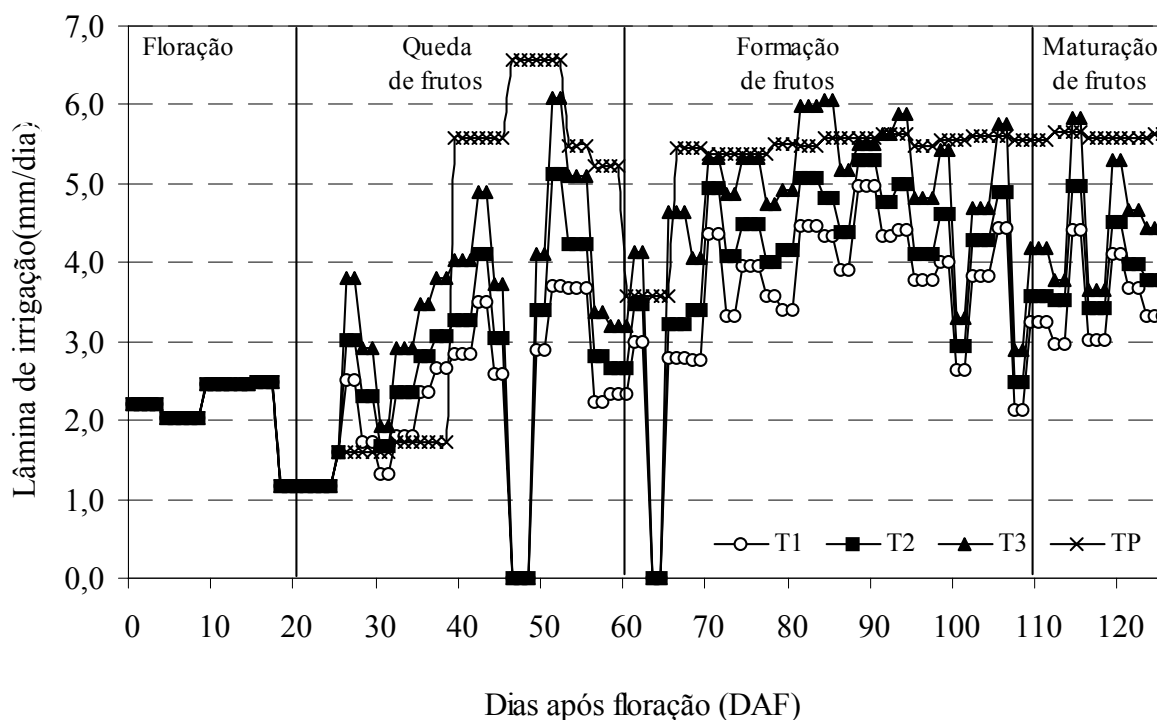


Figura 4.2. Curso temporal das lâminas de irrigação aplicadas ao pomar de mangueiras, Petrolina – PE, 2005.

4.3. Teor de água no solo

As variações da umidade do solo nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,20 m de profundidade são exibidas nas Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente. Elas refletem a variação do conteúdo de umidade do solo devido os efeitos das diferentes lâminas de irrigação aplicadas. A umidade do solo na profundidade de 0,20 m, em todos os tratamentos, manteve-se com teores de água entre $0,09$ e $0,19 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{cm}^{-3}$, com acentuado decréscimo a partir do 75° DAF nos tratamentos T1 e T3 (Figura 4.3). A umidade do solo no tratamento T4 apresentou comportamento estacionário ao longo do ciclo produtivo da mangueira, exceto nas profundidades de 0,80 e 1,20 m. Os outros tratamentos de irrigação apresentaram declínios em todas as profundidades, aproximadamente a partir da metade do ciclo de produção.

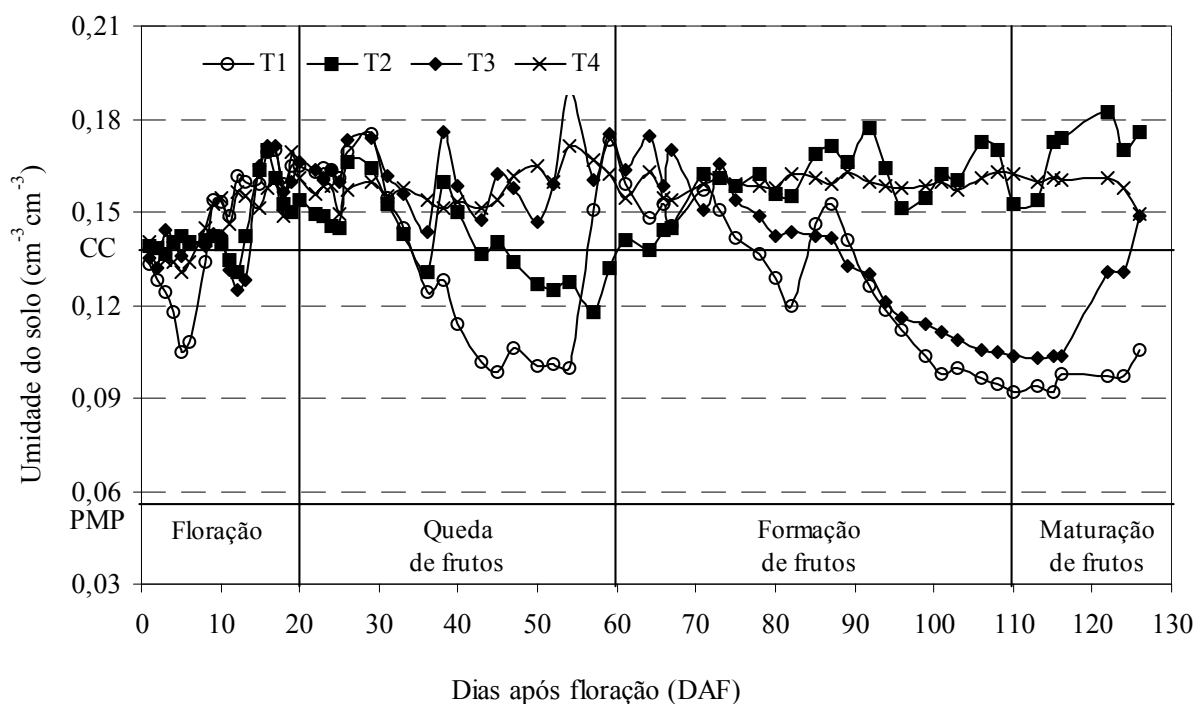


Figura 4.3. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,20 m sob os tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

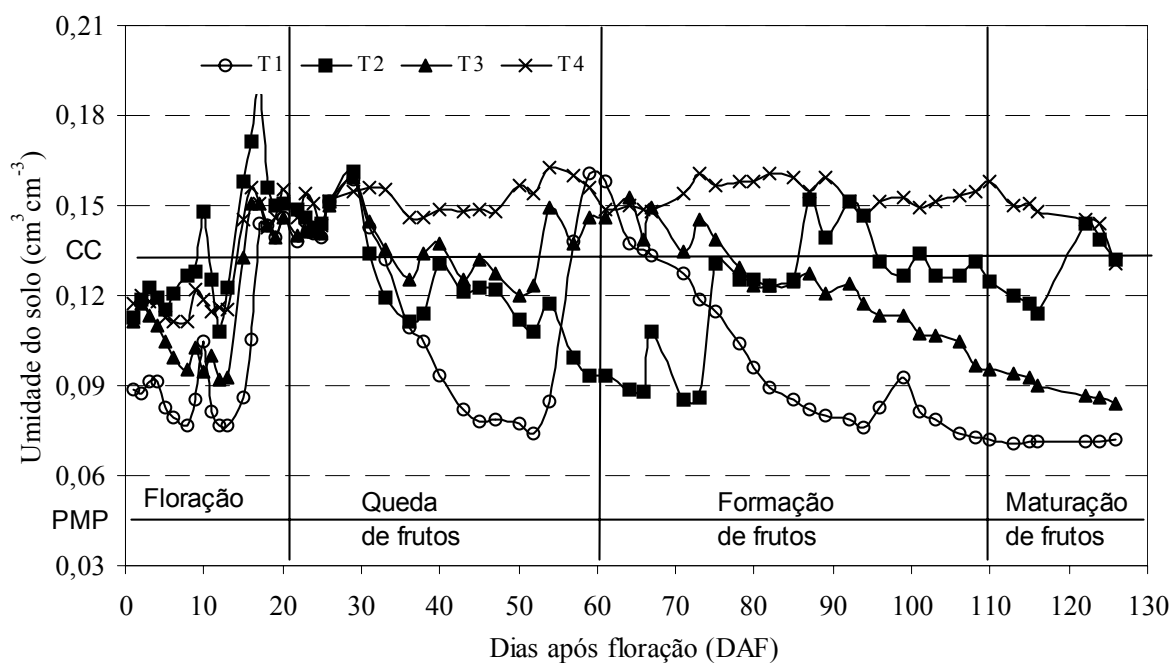


Figura 4.4. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,40 m sob os tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

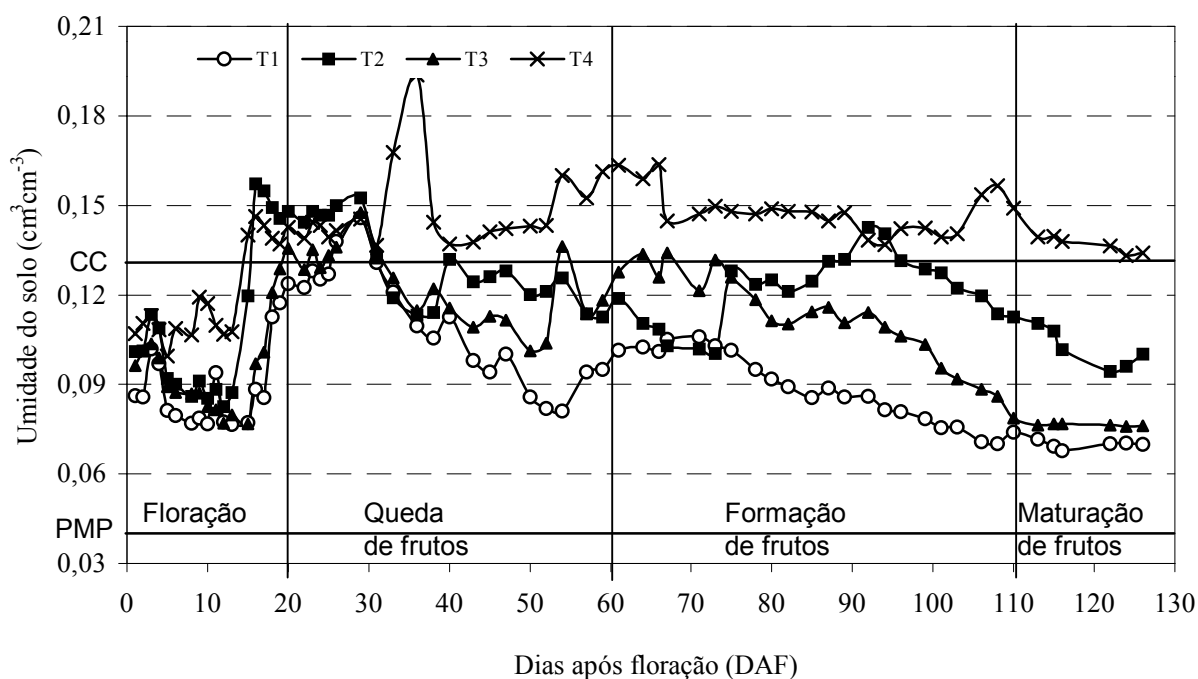


Figura 4.5. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,60 m sob os tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

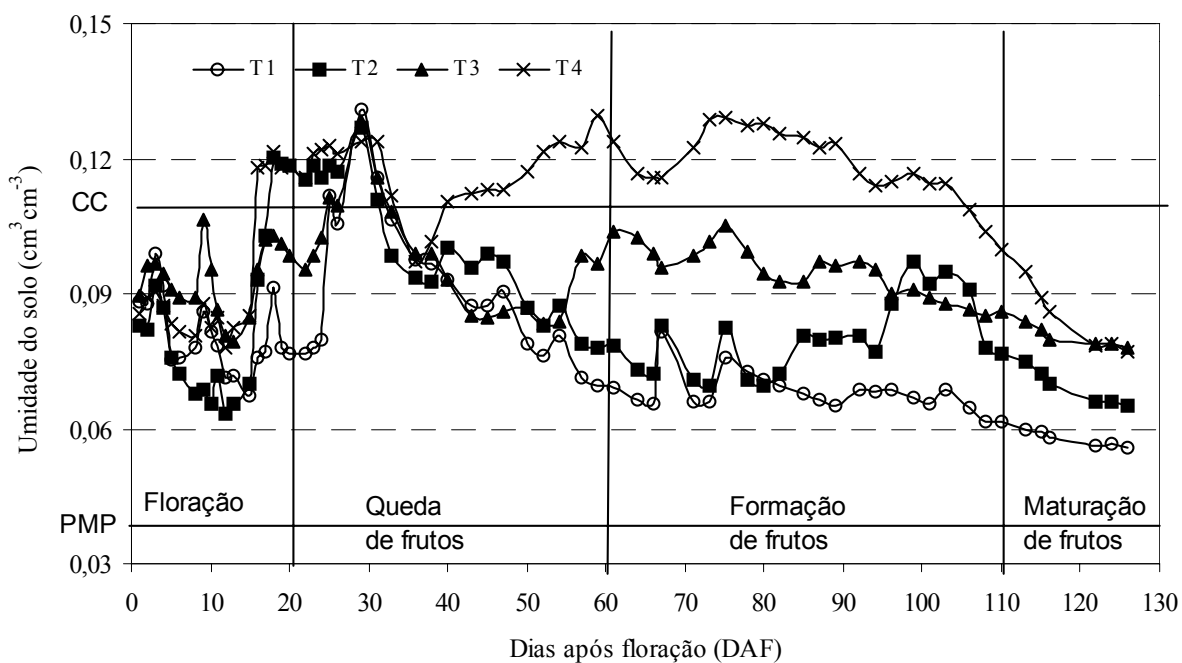


Figura 4.6. Variação da umidade do solo na profundidade de 0,80 m sob os tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

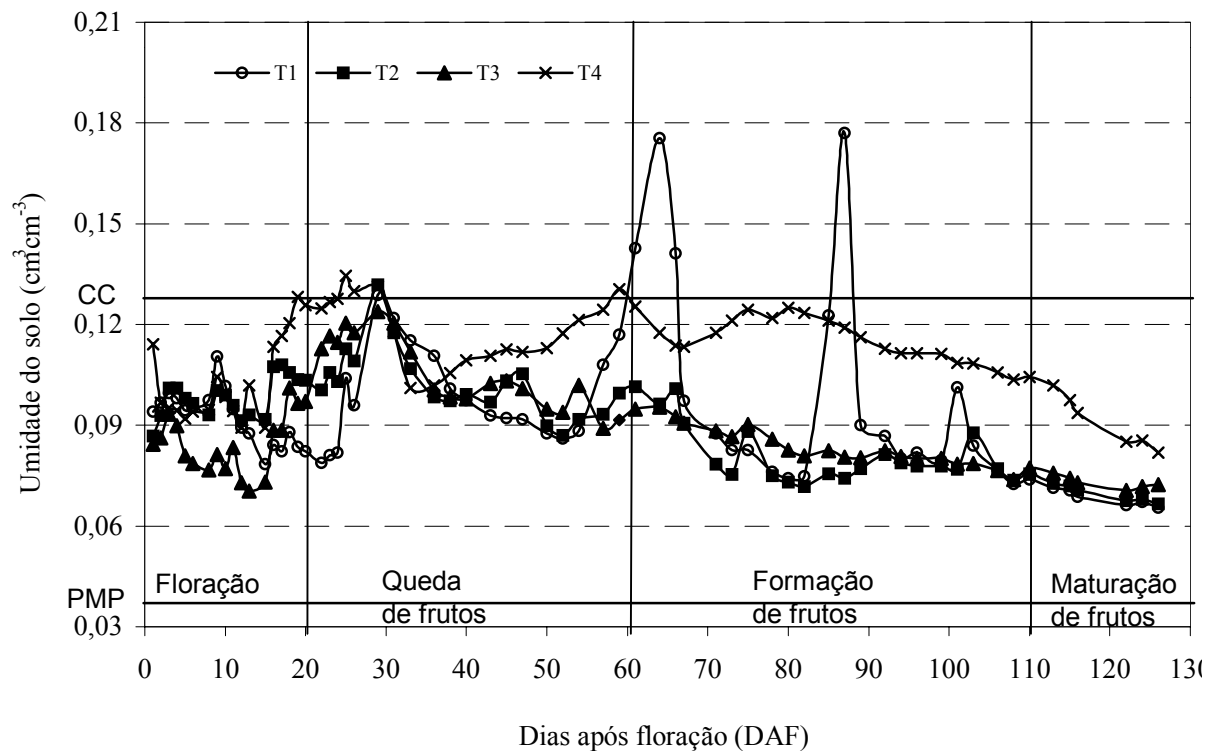


Figura 4.7. Variação da umidade do solo na profundidade de 1,20 m sob os tratamentos T1 ($K_{cr} - 20\% K_{cr}$), T2 (K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\% K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

A umidade do solo na profundidade de 0,40 m variou entre 0,07 e 0,19 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 4.4), na profundidade de 0,60 m entre 0,06 e 0,17 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 4.5), na profundidade de 0,80 m entre 0,06 e 0,13 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 4.6) e na profundidade de 1,20 m entre 0,07 e 0,14 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 4.7).

A umidade do solo na profundidade de 0,20 m manteve-se acima da capacidade de campo ($0,140 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) durante todo o período experimental em todos os tratamentos, exceto nos tratamentos T1 e T2 durante os estádio fenológico de quedas de frutos, e nos tratamentos T1 e T3 a partir do DAF 90. Na profundidade de 0,40 m os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram valores de umidade do solo abaixo da capacidade de campo em vários

momentos do ciclo produtivo da mangueira. Na profundidade de 0,60 m os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram valores de umidade do solo abaixo da capacidade de campo a partir do 50º DAF até o final do estágio de frutificação. O tratamento T4 produziu em todas as profundidades umidade do solo superior a capacidade de campo em todo o todo período experimental, exceto na profundidade de 1,20 m. Em geral, em todos os tratamentos de irrigação, os valores da umidade do solo em algumas profundidades no início e final do ciclo de frutificação da mangueira não atingiram à capacidade de campo.

A Tabela 4.6 apresenta os valores médios e os desvios-padrão da umidade do solo para os quatro tratamentos em cada profundidade analisada. Os valores máximos de umidade do solo foram obtidos na profundidade de 0,20 m, com valores de 0,132; 0,151; 0,153 e 0,156 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Esses valores foram sempre próximos à capacidade de campo. As camadas de 0,80 m e 1,20 m apresentaram umidade do solo média inferior à capacidade de campo. Os valores médios de umidade do solo foram maiores na profundidade de 1,20 m, quando comparados com a profundidade de 0,80 m, entretanto o mesmo não foi observado no tratamento T3. Os baixos valores de umidade do solo observados na camada de 0,80 m de profundidade ocorreram devidos a absorção da água pelas raízes, as quais, concentram-se nesta profundidade. Por outro lado, as médias da umidade do solo foram muito próximas nos quatro tratamentos de irrigação devido à sua pequena variabilidade quando o solo encontra-se submetido à capacidade de campo.

Tabela 4.6. Valores médios e desvios-padrão da umidade do solo para os quatro tratamentos em cada profundidade, Petrolina – PE, 2005.

Profundidade (cm)	Umidade do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)			
	T1	T2	T3	T4
20	0,132 ± 0,03	0,151 ± 0,01	0,153 ± 0,02	0,156 ± 0,01
40	0,102 ± 0,03	0,127 ± 0,02	0,131 ± 0,02	0,145 ± 0,01
60	0,094 ± 0,02	0,119 ± 0,02	0,121 ± 0,02	0,139 ± 0,02
80	0,077 ± 0,02	0,086 ± 0,02	0,096 ± 0,01	0,108 ± 0,02
120	0,094 ± 0,02	0,091 ± 0,01	0,093 ± 0,01	0,111 ± 0,01
Média	0,100 ± 0,02	0,115 ± 0,02	0,119 ± 0,02	0,132 ± 0,01

Evidentemente, o teor de água no solo diminuiu em função do aumento da profundidade e aumentou de acordo com o aumento da lâmina de irrigação. Entretanto, nas profundidades de 0,20 a 0,60 m a umidade do solo manteve-se entre 0,094 e 0,156 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ e nas profundidades entre 0,80 até 1,20 ela foi sempre inferior a capacidade de campo.

As Figuras 4.8 a 4.11 exibem a variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado ao pomar de mangueiras por irrigação e precipitação pluvial durante o ciclo produtivo. Pode-se observar que em todos os tratamentos de irrigação, que o aumento na umidade do solo somente aconteceu alguns dias após a ocorrência chuvas. Esse resultado sugere que os tensiômetros não respondem imediatamente às variações de umidade do solo. Os maiores valores de umidade do solo ocorreram em torno do 29º dia após a floração nos tratamentos T1, T2 e T3, com valores da ordem de 0,133; 0,135 e 0,138 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Todavia, no tratamento T4 o maior valor de umidade ocorreu no 57º dia após floração (0,145 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

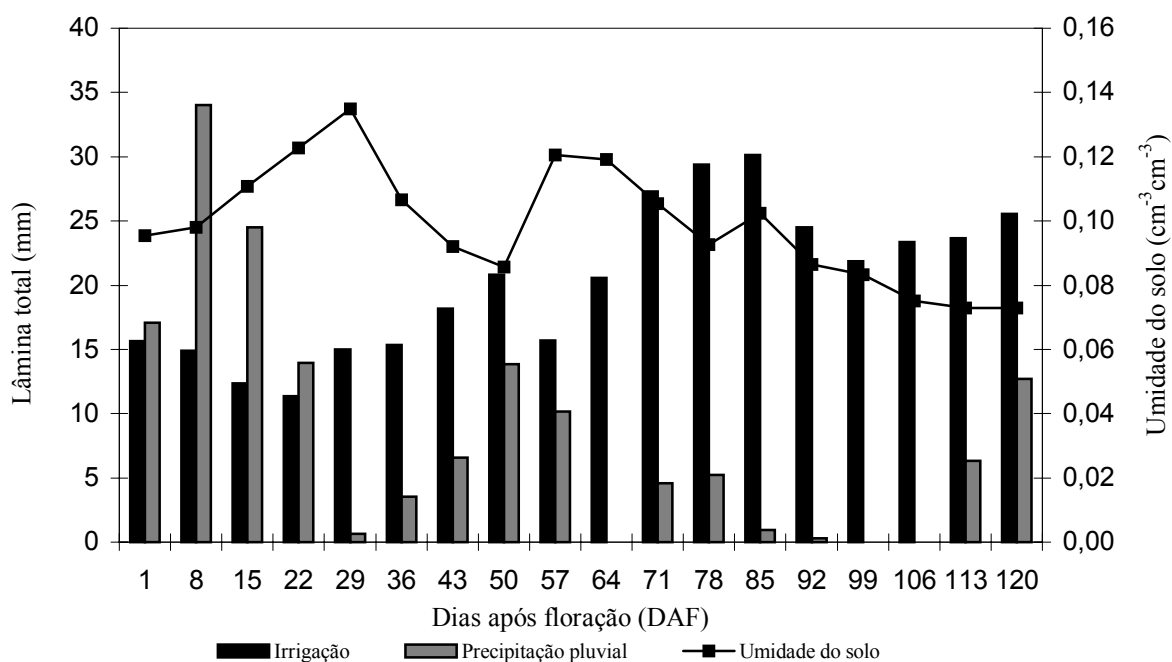


Figura 4.8. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado ao pomar de mangueiras no tratamento T1. A linha representa a umidade do solo e as barras as lâminas de água aplicada por irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.

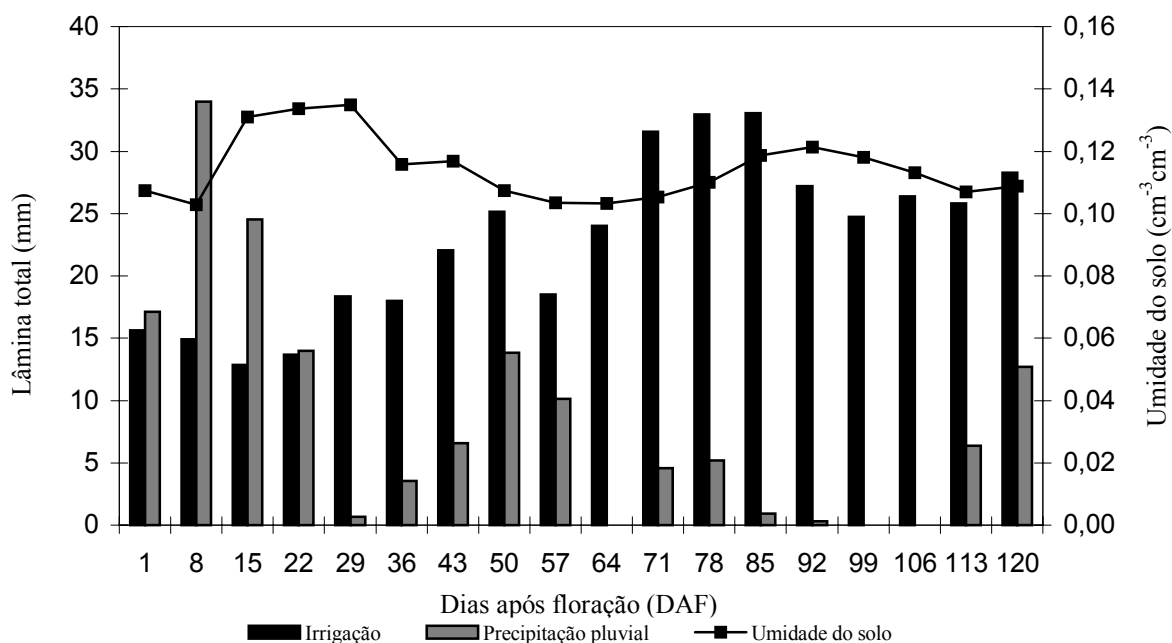


Figura 4.9. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado ao pomar de mangueiras no tratamento T2. A linha representa a umidade do solo e as barras as lâminas de água aplicada por irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.

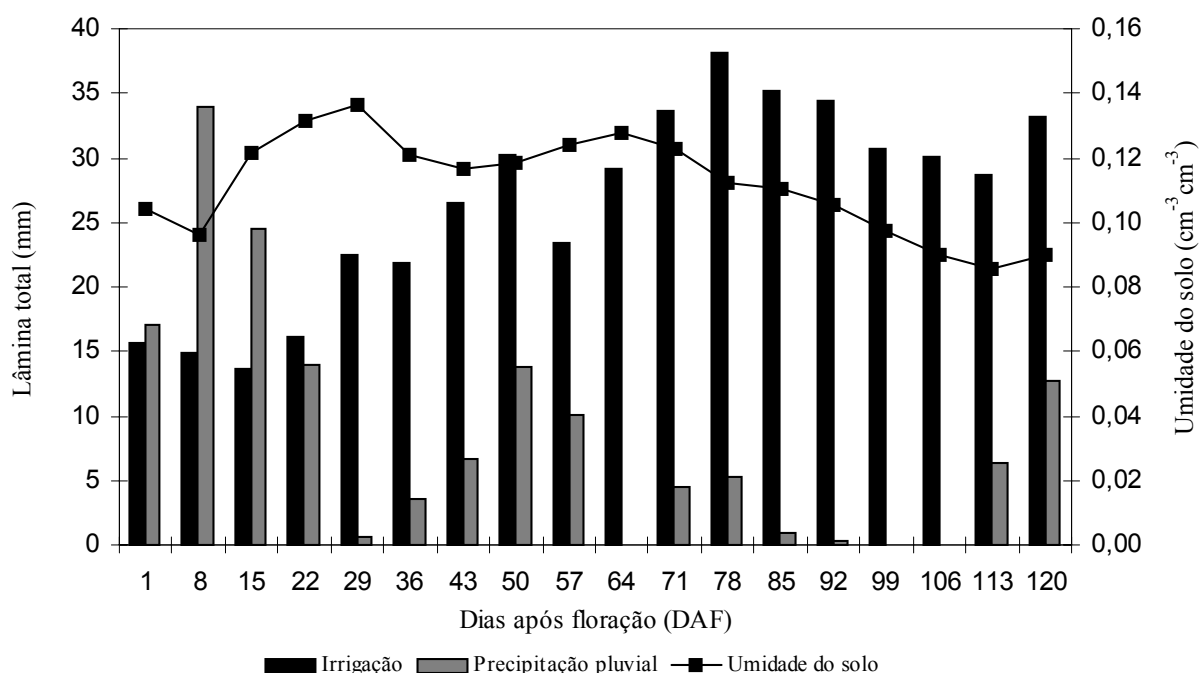


Figura 4.10. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado ao pomar de mangueiras no tratamento T3. A linha representa a umidade do solo e as barras às lâminas de água aplicada por irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.

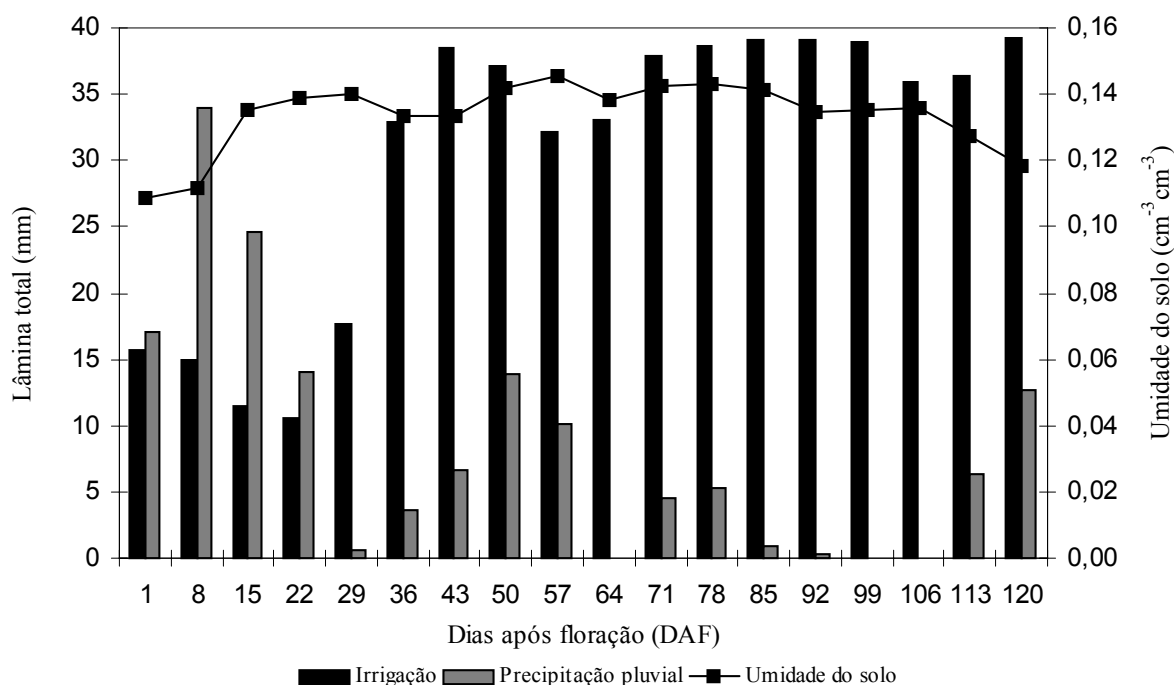


Figura 4.11. Variação semanal da umidade do solo e do total de água aplicado ao pomar de mangueiras no tratamento T4. A linha representa a umidade do solo e as barras às lâminas de água aplicada por irrigação e por precipitação pluvial, Petrolina – PE, 2005.

O relacionamento entre a umidade e a profundidade da camada do solo, obtidos nos tratamentos T1, T2, T3 e T4 são exibidos nas Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15, respectivamente. Os dados da umidade do solo em função da profundidade ajustaram-se a equações quadráticas nos tratamentos T1 e T3, com coeficientes de determinação de 0,97. Por outro lado, foram obtidos polinômios de 3º grau nos tratamentos T2 e T4, com coeficientes de determinação de 0,96 e 0,95, respectivamente. Esses resultados sugerem que a tendência da umidade do solo, nas condições de realização desta pesquisa, pode ser obtida com razoável precisão em função da profundidade da camada solo, vale salientar que os ajustes foram feitos para valores médios, numa situação específica.

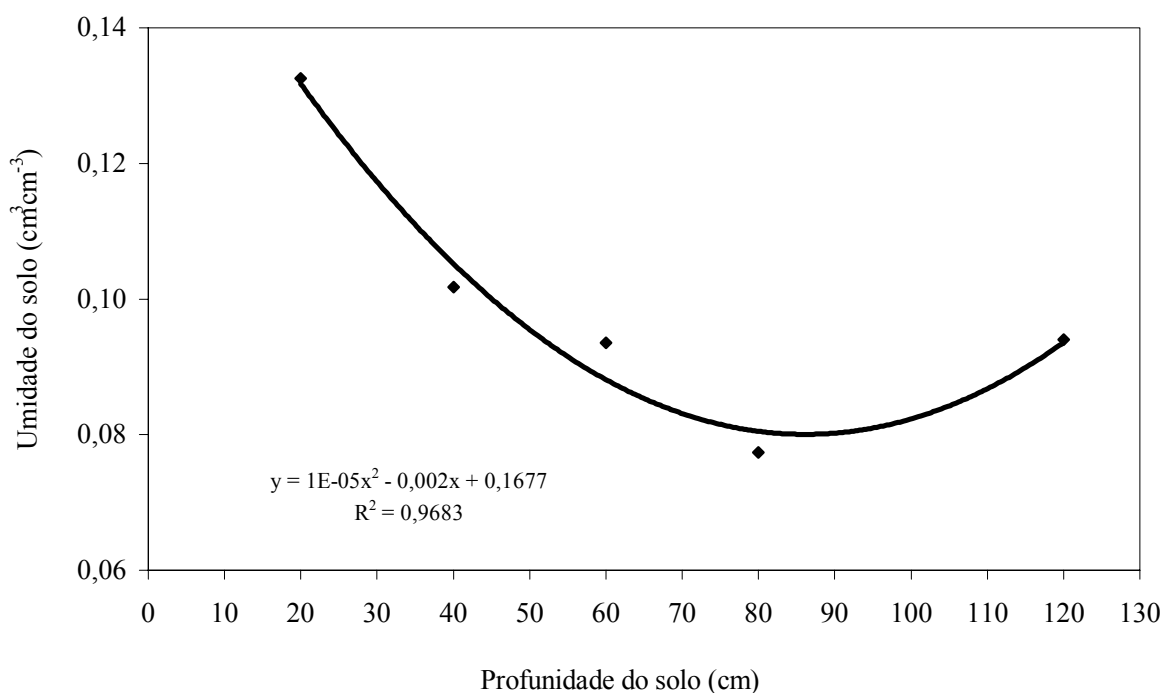


Figura 4.12. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do solo no tratamento T1, Petrolina – PE, 2005.

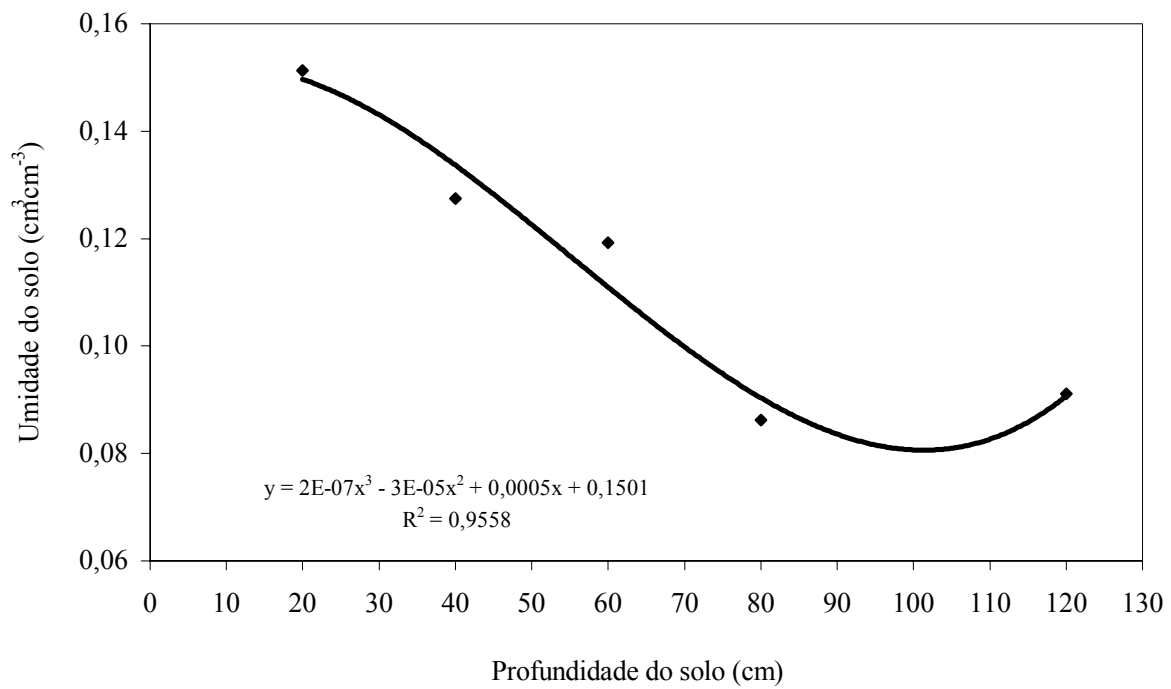


Figura 4.13. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do solo no tratamento T2, Petrolina – PE, 2005.

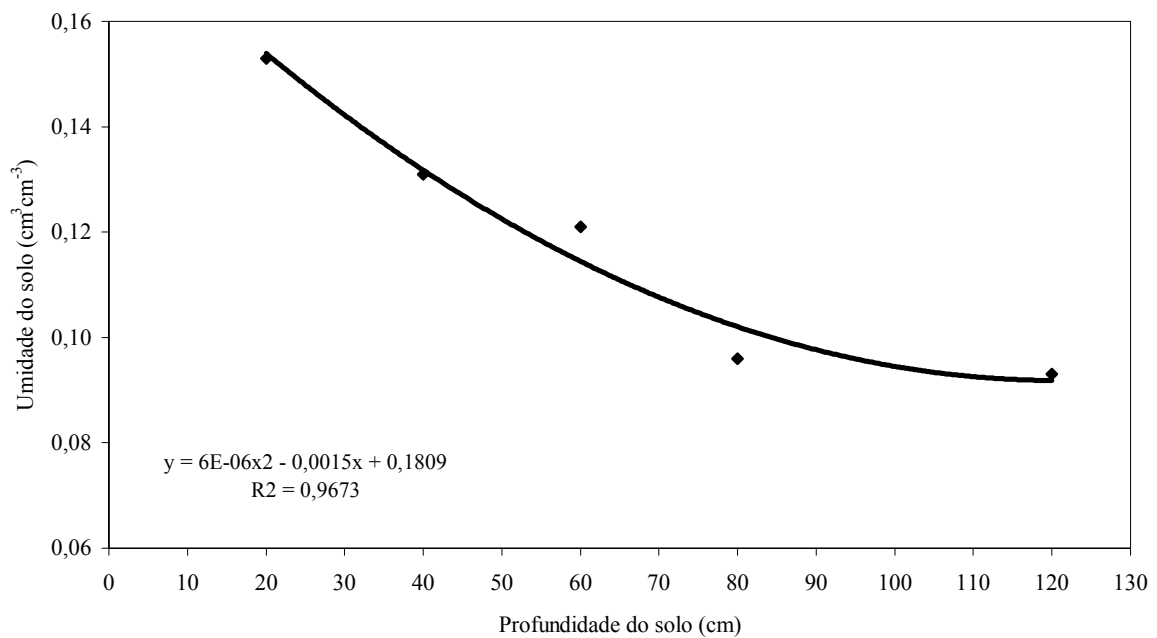


Figura 4.14. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do solo no tratamento T3, Petrolina – PE, 2005.

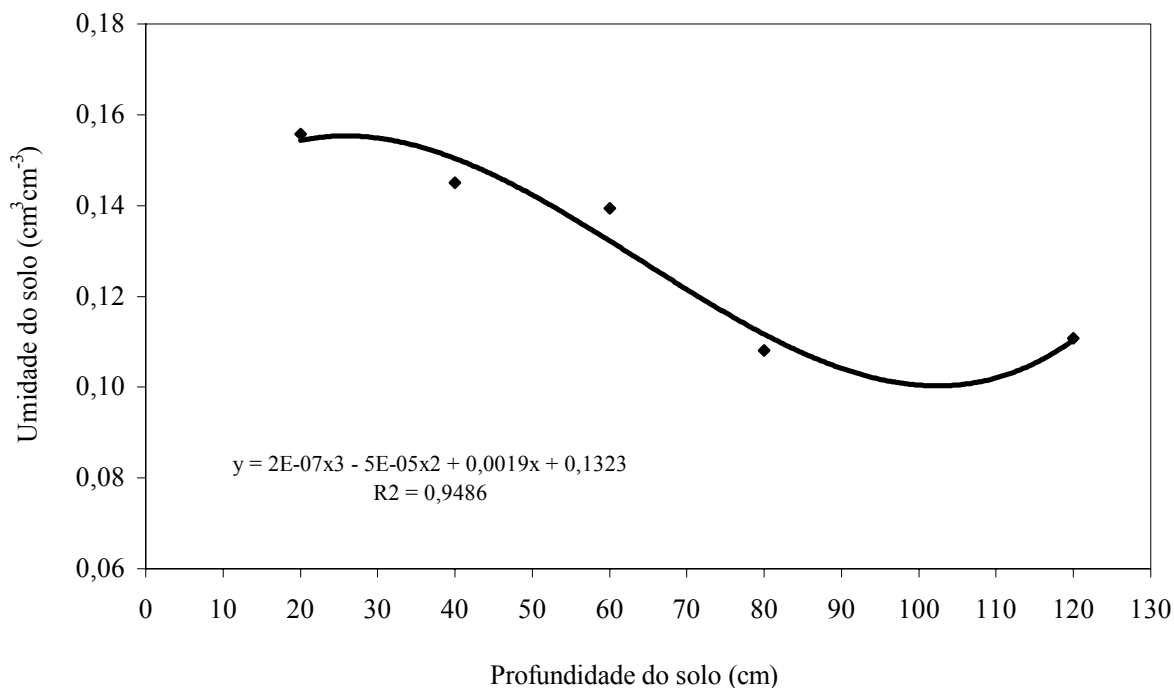


Figura 4.15. Variação da umidade do solo com a profundidade da camada do solo no tratamento T4, Petrolina – PE, 2005.

4.4. Balanço hídrico no solo

Os balanços hídricos no solo nos tratamentos T1, T2, T3 e T4 são apresentados nas Tabelas 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10, respectivamente. A evapotranspiração da mangueira encontra-se corrigida pelo fator de 0,72, que representa a relação entre área de molhamento e a área de projeção da copa da planta.

O BHS mostra que o total de água (precipitação + irrigação) aplicado no tratamento T1 foi 520,09 mm, enquanto que a evapotranspiração acumulada no período foi de 383,14 mm. Nesse período a evapotranspiração média foi de 3,04 mm.dia⁻¹, com valores máximo e mínimo da ordem de 4,35 e 1,86 mm.dia⁻¹, respectivamente, ambos ocorridos no estágio fenológico de floração. A lâmina total de água drenada no período de realização do BHS foi apenas de 1,75 mm.

A evapotranspiração acumulada da mangueira no tratamento T2 foi 8,5% superior àquela obtida no tratamento T1, devido ao aumento da lâmina de água aplicada. Durante o ciclo de frutificação da mangueira, a lâmina total de água aplicada no tratamento T2 totalizou 567,5 mm, enquanto que a evapotranspiração acumulada foi de 405,64 mm (Tabela 4.8), tendo a evapotranspiração média sido de $3,22 \text{ mm.dia}^{-1}$ e a drenagem 4,2 mm.

Por outro lado, a lâmina total de água aplicada no tratamento T3 totalizou 632,45 mm, enquanto a evapotranspiração acumulada alcançou 454,75 mm (Tabela 4.9). A evapotranspiração média da mangueira no tratamento T3 foi de $3,61 \text{ mm.dia}^{-1}$, enquanto o total de água drenada foi de 5,67 mm.

O tratamento T4 foi o que apresentou a maior taxa de evapotranspiração média diária no período, com o valor de $3,96 \text{ mm.dia}^{-1}$. A drenagem também foi a maior de todos os tratamentos de irrigação, totalizando 17,39 mm. O total de água aplicado nesse tratamento foi de 703,38 mm, enquanto que a evapotranspiração acumulada foi de 499,22 mm. Os resultados apresentados indicam que os componentes do balanço hídrico no solo na mangueira foram bastante influenciados pelo volume de água aplicado ao solo.

Tabela 4.7. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, para o tratamento T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Período	ΔW (mm)	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm.dia⁻¹)
18/04-24/04	-9,74	17,10	15,64	-0,02	4,35
25/04-01/05	8,05	34,01	14,89	-0,01	4,19
02/05-08/05	18,57	24,53	12,34	-0,19	1,86
09/05-15/05	1,70	13,97	11,38	-0,79	2,34
16/05-22/05	-13,35	0,65	14,99	-0,68	2,90
23/05-29/05	-2,07	3,55	15,34	-0,09	2,14
30/05-05/06	1,04	6,59	18,18	-0,05	2,43
06/06-12/06	3,69	13,84	20,84	0,01	3,18
13/06-19/06	4,35	10,15	15,67	0,02	2,20
20/06-26/06	-1,28	0,00	20,57	0,01	2,24
27/06-03/07	-6,35	4,57	27,32	0,00	3,92
04/07-10/07	-5,30	5,21	29,40	0,01	4,09
11/07-17/07	-2,92	0,94	30,15	0,01	3,49
18/07-24/07	-5,82	0,30	24,51	0,01	3,14
25/07-31/07	-4,56	0,00	21,87	0,01	2,71
01/08-07/08	-0,78	0,00	23,38	0,00	2,48
08/08-14/08	-1,07	6,35	23,68	0,00	3,19
15/08-21/08	0,07	12,70	25,53	0,00	3,91
Total	-	154,44	365,65	-1,75	383,14
Média	-	-	-	-	3,04

Tabela 4.8. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, para o tratamento T2 (K_{cr}). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Período	ΔW (mm)	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm.dia⁻¹)
18/04-24/04	-7,89	17,10	15,64	0,00	4,16
25/04-01/05	-0,19	34,01	14,89	-0,47	4,98
02/05-08/05	8,82	24,53	12,83	-1,18	2,80
09/05-15/05	-3,78	13,97	13,66	-1,10	3,11
16/05-22/05	-6,12	0,65	18,34	-0,49	2,52
23/05-29/05	6,78	3,55	17,97	-0,17	1,49
30/05-05/06	1,59	6,59	22,04	-0,11	2,76
06/06-12/06	3,41	13,84	25,16	-0,01	3,64
13/06-19/06	5,08	10,15	18,52	0,01	2,42
20/06-26/06	10,81	0,00	24,03	0,00	1,35
27/06-03/07	6,93	4,57	31,58	-0,01	2,99
04/07-10/07	0,84	5,21	32,94	-0,03	3,82
11/07-17/07	-3,14	0,94	33,08	-0,07	3,80
18/07-24/07	-8,01	0,30	27,21	-0,24	3,62
25/07-31/07	-6,53	0,00	24,72	-0,26	3,18
01/08-07/08	-4,13	0,00	26,39	-0,07	3,12
08/08-14/08	-3,47	6,35	25,81	-0,01	3,65
15/08-21/08	-3,10	12,70	28,30	0,00	4,52
Total	-	154,44	413,06	-4,20	405,64
Média	-	-	-	-	3,22

Tabela 4.9. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, para o tratamento T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Período	ΔW (mm)	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm.dia⁻¹)
18/04-24/04	-11,07	17,10	15,64	-0,31	4,46
25/04-01/05	-0,34	34,01	14,89	-0,39	5,01
02/05-08/05	12,76	24,53	13,61	-0,31	2,57
09/05-15/05	1,68	13,97	16,14	-0,73	2,84
16/05-22/05	-6,23	0,65	22,54	-0,70	2,94
23/05-29/05	3,63	3,55	21,93	-0,09	2,23
30/05-05/06	11,83	6,59	26,47	0,00	2,17
06/06-12/06	13,36	13,84	30,16	-0,21	3,12
13/06-19/06	1,61	10,15	23,34	-0,38	3,23
20/06-26/06	0,46	0,00	29,21	-0,48	2,90
27/06-03/07	-3,97	4,57	33,65	-0,49	4,27
04/07-10/07	-3,98	5,21	38,14	-0,40	4,81
11/07-17/07	-8,40	0,94	35,23	-0,40	4,53
18/07-24/07	-6,71	0,30	34,47	-0,29	4,22
25/07-31/07	-4,85	0,00	30,67	-0,18	3,62
01/08-07/08	-2,80	0,00	30,03	-0,15	3,35
08/08-14/08	-3,77	6,35	28,71	-0,08	3,97
15/08-21/08	-0,26	12,70	33,23	-0,08	4,73
Total	-	154,44	478,03	-5,67	454,75
Média	-	-	-	-	3,61

Tabela 4.10. Componentes do balanço hídrico no solo no pomar de mangueiras, para o tratamento T4 (controle). ΔW é a variação de armazenamento de água no solo, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Período	ΔW (mm)	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm.dia⁻¹)
18/04-24/04	-6,05	17,10	15,64	-0,01	3,97
25/04-01/05	1,29	34,01	14,89	-0,47	4,83
02/05-08/05	7,02	24,53	11,42	-1,01	2,86
09/05-15/05	8,34	13,97	10,50	-1,24	1,53
16/05-22/05	-3,30	0,65	17,62	-0,88	2,12
23/05-29/05	-2,61	3,55	32,89	-0,57	3,94
30/05-05/06	1,14	6,59	38,42	-1,13	4,38
06/06-12/06	2,53	13,84	37,19	-1,60	4,80
13/06-19/06	-3,66	10,15	32,09	-1,36	4,56
20/06-26/06	-3,64	0,00	33,08	-1,60	3,60
27/06-03/07	1,57	4,57	37,95	-2,16	3,97
04/07-10/07	0,68	5,21	38,69	-1,94	4,23
11/07-17/07	0,16	0,94	39,03	-1,37	3,94
18/07-24/07	-0,63	0,30	39,03	-1,03	3,99
25/07-31/07	-1,39	0,00	39,01	-0,74	4,06
01/08-07/08	-5,06	0,00	36,00	-0,23	4,18
08/08-14/08	-4,88	6,35	36,31	-0,04	4,87
15/08-21/08	-1,36	12,70	39,22	-0,01	5,46
Total	-	154,44	548,94	-17,39	499,22
Média	-	-	-	-	3,96

O curso temporal da evapotranspiração média diária do pomar de mangueira para os quatro tratamentos de irrigação é apresentado na Figura 4.16. Apesar da evapotranspiração acumulada do pomar ter aumentado de acordo com o aumento da lâmina de irrigação, em alguns períodos do ciclo frutificação, a taxa diária de evapotranspiração não seguiu esse comportamento. Por exemplo, no período compreendido entre o 75 e 100 DAF, a ET_c no tratamento T3 foi maior do que aquela obtida no tratamento T4.

Nas Tabelas 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 são apresentados os totais acumulados dos componentes do balanço hídrico no solo para cada estágio fenológico da mangueira, correspondentes aos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. No tratamento T1 a drenagem profunda foi praticamente nula, exceto no estágio de queda de frutos, cujo valor foi 1,74 mm (Tabela 4.11). Todavia, nos tratamentos T3 e T4 esse componente do balanço hídrico no solo foi maior no estágio fenológico de formação de frutos, com valores da ordem de 2,59 mm (Tabela 4.13) e 10,04 mm (Tabela 4.14), respectivamente. A mangueira apresentou o maior valor acumulado de evapotranspiração no estágio de formação de frutos em face dele ser o mais longo deles. Entretanto, a maior taxa de evapotranspiração média diária foi obtida no estágio de maturação de frutos com 3,8; 4,4; 4,7 e 5,6 $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, correspondentes aos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Por outro lado, as menores taxas de evapotranspiração média diária foram encontradas no estágio de queda de frutos com valores de 2,6; 2,7; 2,8 e 3,6 $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, relativos aos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Tabela 4.11. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do pomar de mangueiras para o tratamento T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Estádio	Período	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm)	ET_c (mmdia⁻¹)
Floração	17/04 – 07/05	75,64	43,51	-0,07	70,90	3,5
Queda de frutos	08/05 – 17/06	38,6	90,27	-1,74	103,72	2,6
Formação de frutos	18/06 – 07/08	21,15	182,52	0,06	158,83	3,2
Maturação dos frutos	08/08 – 18/08	19,05	39,43	0,00	37,95	3,8

Tabela 4.12. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do pomar de mangueiras para o tratamento T2 (K_{cr}) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Estádio	Período	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm)	ET_c (mmdia⁻¹)
Floração	17/04 – 07/05	75,64	43,51	-0,81	80,85	4,0
Queda de frutos	08/05 – 17/06	38,6	107,80	-2,71	109,61	2,7
Formação de frutos	18/06 – 07/08	21,15	206,15	-0,66	157,99	3,2
Maturação dos frutos	08/08 – 18/08	19,05	44,31	-0,02	43,63	4,4

Tabela 4.13. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do pomar de mangueiras para o tratamento T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Estádio	Período	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm)	ET_c (mmdia⁻¹)
Floração	17/04 – 07/05	75,64	43,51	-0,92	81,73	4,1
Queda de frutos	08/05 – 17/06	38,6	129,34	-1,99	111,83	2,8
Formação de frutos	18/06 – 07/08	21,15	241,76	-2,59	200,31	4,0
Maturação dos frutos	08/08 – 18/08	19,05	50,13	-0,17	46,71	4,7

Tabela 4.14. Total acumulado dos componentes do balanço hídrico no solo do pomar de mangueiras para o tratamento T4 (controle) para cada estágio fenológico, Pr é a precipitação pluvial, Irrig. é a irrigação, D/A é a drenagem profunda ou ascensão capilar e ET_c é a evapotranspiração da mangueira, em Petrolina – PE, 2005.

Estádio	Período	Pr (mm)	Irrig. (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm)	ET_c (mmdia⁻¹)
Floração	17/04 – 07/05	75,64	43,51	-0,96	78,80	3,9
Queda de frutos	08/05 – 17/06	38,6	155,12	-6,33	143,11	3,6
Formação de frutos	18/06 – 07/08	21,15	271,68	-10,04	205,00	4,1
Maturação dos frutos	08/08 – 18/08	19,05	61,75	-0,07	55,92	5,6

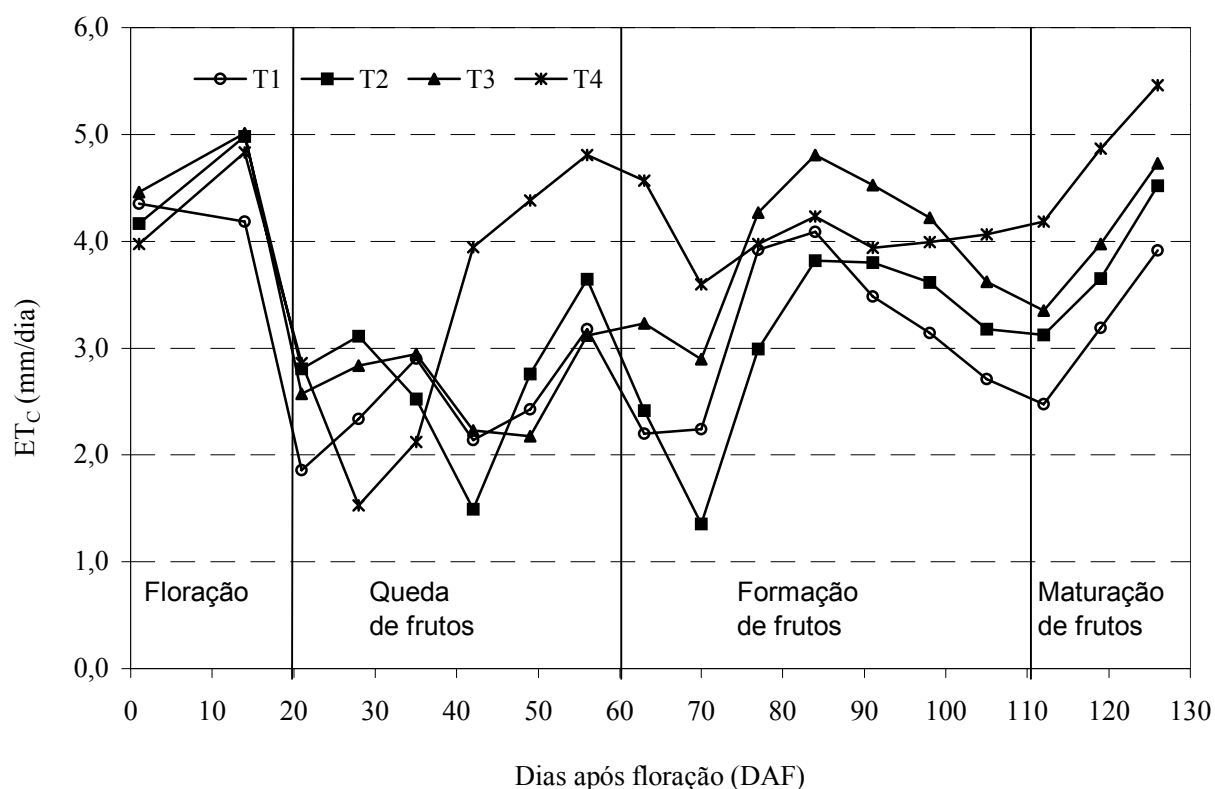


Figura 4.16. Comportamento médio diário da evapotranspiração da mangueira obtida pelo método do balanço hídrico no solo na área experimental, em Petrolina – PE, 2005.

4.5. Componentes de produção do pomar de mangueiras

Os componentes de produção da mangueira sob os tratamentos de irrigação são apresentados na Tabela 4.15. A colheita dos frutos revelou que a produtividade média do pomar, mediante os tratamentos T1, T2, T3 e T4, foram 29,49; 29,97; 31,06 e 28,06 t ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, o número médio de frutos/planta nos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram 402,2; 408,7; 423,5 e 385,6, respectivamente, enquanto o peso médio de frutos/planta foram 147,5; 149,9; 155,3 e 140,3 kg, nesses mesmos tratamentos.

A análise de variância aplicada aos dados de produtividade não revelou diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos de irrigação. Entretanto, a diferença entre os componentes de produtividade do tratamento T3 e o tratamento controle (T4) foi bastante considerável, apesar delas não serem estatisticamente significante. Por exemplo, a diferença de produtividade entre esses tratamentos foi de exatamente 3 t ha⁻¹. Entretanto, os demais componentes de produtividade do pomar de mangueiras, tais como o número de frutos por planta, peso de frutos por planta e o rendimento foram menos influenciados pelas diferentes lâminas aplicadas ao pomar.

A equação que melhor ajustou-se ao relacionamento entre o rendimento de frutos e a lamina de água foi uma função quadrática, com R² de 0,86 (Figura 4.13). O ponto de máximo rendimento ocorreu no tratamento T3 (31,1 tha⁻¹). Esse tratamento de irrigação proporcionou um aumento de 11% na produtividade total, em relação ao tratamento T4 (controle), que produziu a menor produtividade (28,1 t ha⁻¹).

O rendimento médio do pomar apresentou valores bastante superiores à media nacional, que segundo Pimentel (2000) é de 9,67 t ha⁻¹. Oliveira (2002) obteve uma produtividade de 13,93 t ha⁻¹ num pomar de mangueiras cultivado no estado do Piauí. Por outro lado, Silva (2005) obteve a produtividade de 46,56 t ha⁻¹ em experimento de campo realizado na região do Submédio rio São Francisco.

Tabela 4.15. Parâmetros de produtividade do pomar de mangueiras para os tratamentos de irrigação T1 ($K_{cr} - 20\%K_{cr}$), T2(K_{cr}), T3 ($K_{cr} + 20\%K_{cr}$) e T4 (controle), Petrolina – PE, 2005.

	T1	T2	T3	T4
Número de frutos/planta	402,17 ^a	408,75 ^a	423,50 ^a	382,58 ^a
Peso de frutos/planta	147,46 ^a	149,87 ^a	155,28 ^a	140,28 ^a
Produtividade (t/ha)	29,49 ^a	29,97 ^a	31,06 ^a	28,06 ^a

*Para a mesma variável, nas linhas, médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O aumento da lâmina de irrigação não acarretou aumento nos parâmetros de produtividade da mangueira. Esse resultado demonstra que o tratamento controle utilizado na área de estudo não é o mais adequado, porque não aumenta a produtividade da mangueira; e os custos de produção são mais elevados. Além disso, esse tratamento de irrigação apresentou a menor média de frutos por planta (Tabela 4.15).

Os relacionamentos entre as lâminas de irrigação e os parâmetros de produtividade do pomar de mangueiras são exibidos na Figura 4.17 (rendimento de frutos), Figura 4.18 (número de frutos por planta) e Figura 4.19 (peso de frutos por planta). As funções de ajuste são todas quadráticas e os coeficientes de determinação são superiores a 0,85.

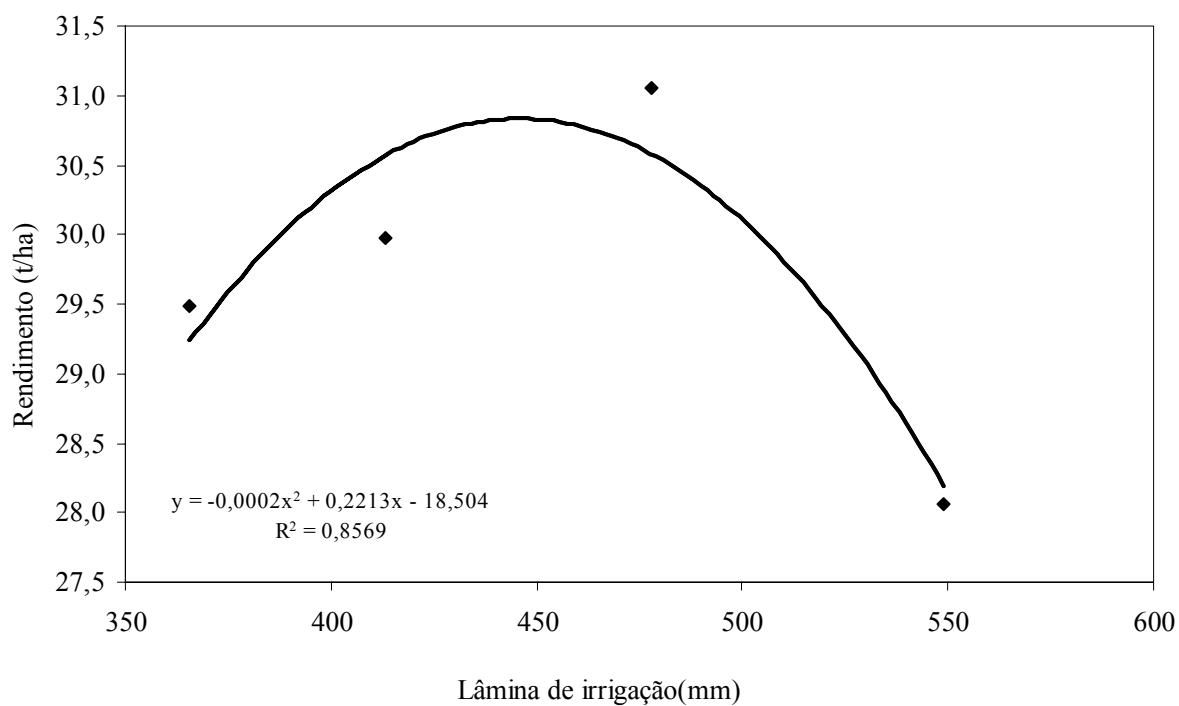


Figura 4.17. Rendimento do pomar de mangueiras em função da lâmina de irrigação, em Petrolina – PE, 2005.

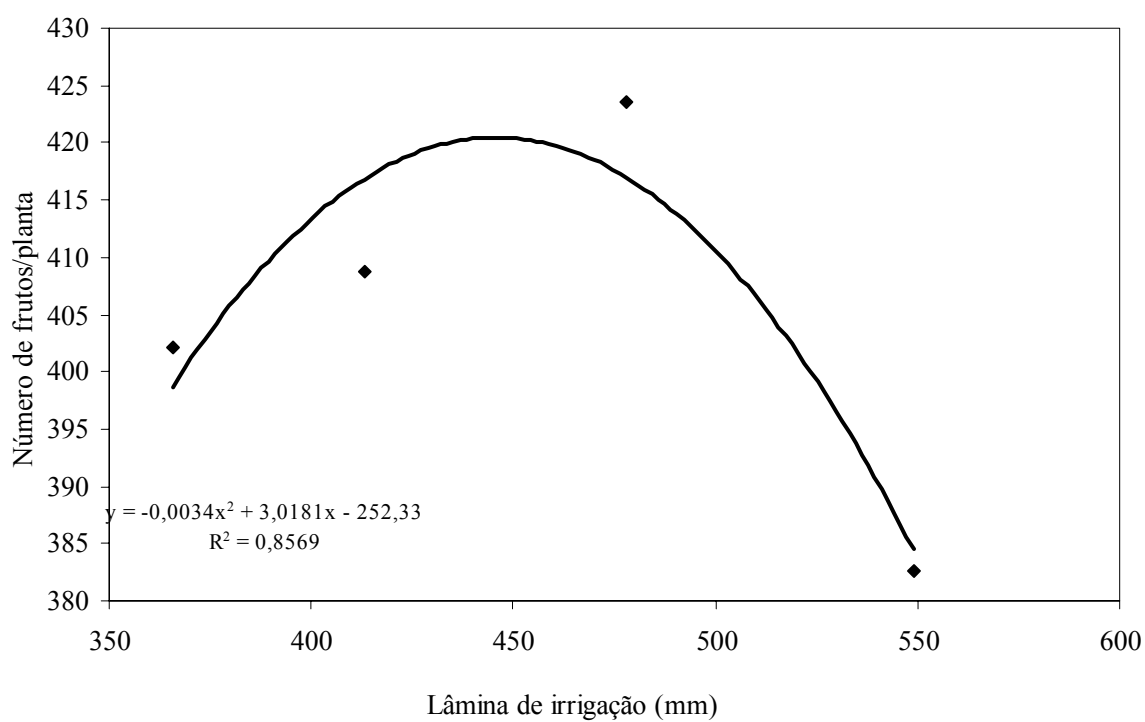


Figura 4.18. Frutos por planta em função da lâmina de irrigação aplicada ao pomar de mangueiras, em Petrolina – PE, 2005.

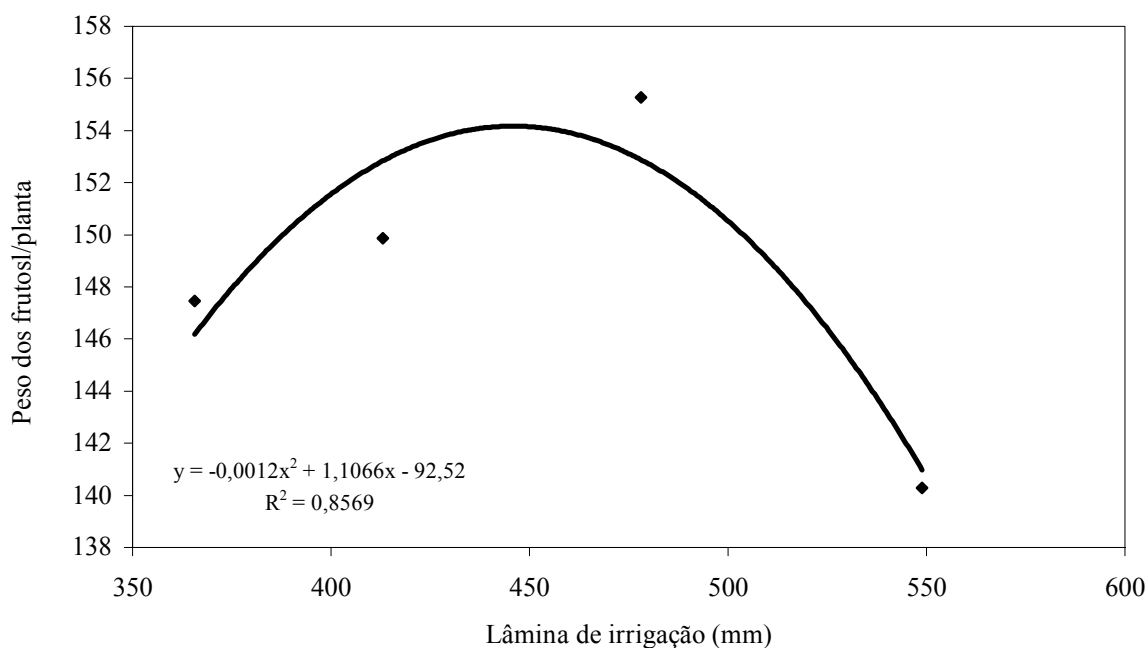


Figura 4.19. Peso de frutos por planta em função da lâmina de irrigação aplicada ao pomar de mangueiras, em Petrolina – PE, 2005.

4.6. Eficiência do uso de água

A eficiência do uso de água no pomar de mangueiras com base na irrigação (EUA_{ir}) e na evapotranspiração (EUA_{et}) para todos os tratamentos de irrigação é apresentada na Tabela 4.16. Os valores médios de EUA_{et} e EUA_{ir} da mangueira foram basicamente os mesmos, com $68,84 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ e $67,32 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, respectivamente. A EUA_{et} sobreestimou a EUA_{ir} em apenas 2,2%. As EUA_{et} nos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram 76,97; 73,89; 68,29 e 56,20 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, respectivamente, enquanto a EUA_{ir} foram de 80,66; 72,57; 64,97 e 51,11 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, respectivamente. Assim, EUA_{ir} foi menor do que EUA_{et} em todos os tratamentos de irrigação, exceto no tratamento T1, em que EUA_{ir} foi 4,6% maior do que EUA_{et} .

Tabela 4.16. Eficiência do uso de água no pomar de mangueiras com base nos dados de irrigação (EUA_{ir}) e de evapotranspiração (EUA_{et}), Petrolina – PE, 2005.

Tratamento	Eficiência do uso de água ($kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$)	
	EUA_{ir}	EUA_{et}
T1	80,66	76,97
T2	72,57	73,89
T3	64,97	68,29
T4	51,11	56,20
Média	67,32	68,84

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos a partir do experimento de campo realizado no pomar de mangueiras cultivado na região do Submédio rio São Francisco foi concluído o seguinte:

1. O manejo de água mais adequado no cultivo da mangueira na região do Submédio São Francisco foi o T3, que utiliza um incremento de 20% da curva do coeficiente de cultivo.
2. A evapotranspiração no pomar de mangueiras é maior no final do ciclo produtivo e menor no estágio fenológico de queda de frutos.
3. A eficiência do uso de água da mangueira é menor no tratamento controle e maior no tratamento que utiliza um incremento de -20% da curva do coeficiente de cultivo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; *et al.* Crop evapotranspiration. Roma: FAO, 1998. 301p. (Irrigation and Drainage paper 56).

Andreatta, J.A. Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de cultivares de milho (*Zea mays* L.) e a evapotranspiração potencial. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 1990. 94 p. (Dissertação de mestrado)

Angelocci, L.R. Necessidades hídricas de frutíferas. In: Seminário sobre água na produção de frutíferas, Pelotas, 2000. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p.6-7. (Embrapa Clima Temperado. Documentos 68).

Aujla, M.S.; Thind, H.S.; Buttar, G.S. Cotton yield and water use efficiency at various levels of water and N through drip irrigation under two methods of planting. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.71, n.1, p.167-179. 2005.

- Azevedo, P.V. de; Ramana Rao, T.V.; Amorim Neto, M.da S.; et al. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.26.n.7,p.863-870,1993.
- Azevedo, P.V.; Silva, B.B.; Silva, V.P.R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.58, n.1, p.241-254. 2003.
- Bezerra, F.M.L., Freitas, A.A., Oliveira, C.H.C. Evapotranspiração máxima da acerola (*Malpighia glabra L.*) no primeiro ano de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. Anais..., Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p.671-672.
- Bezerra, F. M. L.; Oliveira, C. H. C. Evapotranspiração máxiama e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.173-177, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
- Camargo, A.P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. Anais: Campinas, Fundação Cargil, 1987. p.53-90.
- Castel, J. Response of young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. Journal of Horticultural Science, Ashford – Kent, v.69, n.3, p.481-489, 1994.
- Clark, G.A.; Albrechts, E.E.; Stanley, C.D. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. Transactions of the SAE, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, v.39, n.3, p.905-912, 1996.
- Cunha, G.R; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.. Balanço de energia em cultura de milho. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-14, 1996.

- Dinar, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*, New York, v. 14, p. 47-52, 1993.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. Crop water requirements. *Irrigation and Drainage*. Paper 24, FAO, Rome, 1977.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Yield response to water. Roma, FAO, 1979, 193p. (*Irrigation & Drainage paper 33*).
- Evans, R.G.; Spayd, S. E.; Wample, R.L. Water use of *Vitis Vinifera* Grapes in Washington. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.23, n.1, p.109-124, 1993.
- Ferreira, M.I.; Valancogne, C.; Daudet, F.A. Evapotranspiration and crop-water relations in a peach orchard. In: *Evapotranspiration and irrigation scheduling*, Proceedings of the International Conference, American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, november, 3-6, San Antonio, Texas, p.61-68, 1996.
- Guandique, M.E.G.; Libardi, P.L. Balanço hídrico no solo e consumo de água para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; ESALQ, 1997, p.638-640.
- Hillel, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de solos, 1970. 231p.
- Klar, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel Editora, 1984. 408p
- Klar, A.E. Irrigação frequência e quantidade de aplicação. 1ª. Ed. São Paulo: Nobel Editora, 1991.

- Lacerda, M.A.D.; Lacerda, R.D. O Cluster da fruticultura no Pólo Petrolina/Juazeiro. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.4, n.1, p.22p, 2004.
- Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Física e Meteorologia, 1995, 497p.
- Lin, S.S.M.; Hubbel, J.N.; Samson Isou, S.C.S.; Splittstoesser, W.E. Drip irrigation and tomato yield under tropical conditions. Hortscience, Fort Collins, v.18, p.460-471, 1983.
- Matzenauer, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficiente de cultura. In: BERGAMASCHI, H. Agrometeorologia aplicada a irrigação. 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1999, p.33-47.
- Michalopoulou, H.; Papaioannou, G. Reference crop evapotranspiration over Greece. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.20, p.209-221, 1991.
- Michelakis, N.; Vouyoukalou, E.; Clapaki, G. Water use and soil moisture depletion by olive trees under different irrigation conditions. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 29, n.3, p.315-325, 1996.
- Mokate, A. S.; Varshneya, M. C.; Naidu, T. R. V.; *et al.* Evapotranspiration and energy balance studies over wheat crop by Bowen ratio energy balance method. Journal Maharashtra Agricultural Universities, Pune, v. 20, n. 2, p. 273-276, 1995.
- Moreira, H.J.C. Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 90p, 1993.

Moura, M. S. B. Consumo hídrico, produtividade e qualidade do fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco. Campina Grande: CDRN/UFCG, 2005, 122p. (Tese de doutorado).

Mualem, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resource Research*, Washington, v.12, n.3, p.513 – 522, 1976.

Oliveira, F.C.; Coelho, E.F.; Vasconcelos, L.F.L.; Araújo, E.C.E. Produção de manga sob diferentes regimes de irrigação, em condições subúmidas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.3, p.390-396, 2002.

Oliveira, S.L.; Alves, E.J.; Caldas, R.C. Coeficiente de cultura para irrigação da bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Cruz das Almas, v.15, n.3, p.15-20. 1993.

Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Sedyama, G.C. Evapo(transpi)ração. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz: **FEALQ**, São Paulo, 183p, 1997.

Perreira, L.S.; Allen, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 12, n.1, p. 118-143, 1997.

Pimentel, C.R.M. Oportunidades e barreiras à expansão do comércio internacional para a manga nordestina. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.31, n.2, p.166-176, 2000.

Reichardt, K. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.3, p.1-5, 1979.

Richards, R.A.; López-Castaneda, C.; Gomez-Macpherson, H.; Condon, A.G. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrigation Science*, New York, v.14, p.93-104, 1993.

- Ritschel, P.S.; Sousa, V.F. de; Conceição, M.A.F.; Souza, V.A.B. de; Coelho, E.F. Efeito da época de suspensão da irrigação na produtividade do meloeiro (*Cucumis melo L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10, 1994, Salvador. Anais ... Salvador: ABID, p.135-142,1994.
- Rose, C. W. Agricultural physics. London: Pergamon Press, 1966. 230p.
- Sepaskhah, A.R.; Kashefipour, S.M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.27, p.1, p.331-340, 1995.
- Silva, F.A.S. The ASSISTAT Software: statistical assistance. International Conference on Computers in Agriculture. *Trans. ASAE*, 1, 298-298, 1996.
- Silva, V.P.R. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Campina Grande: CDRN/UFPB, 2000, 129p. (Tese de doutorado).
- Silva, V. P. R; Azevedo, P. V.; Silva, B. B. Estimativa da eficiência do uso de água da mangueira cultivada na região do submédio rio São Francisco. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. CAMPINAS. 2005. v. CD-ROM
- Simsek, M.; Tonkaz, T.; Kaçira, M.; Çomlekçoglu, N.; Dogan, Z. The effects of different irrigation regimes on cucumber (*Cucubis sativa L.*) yield and yield characteristics under open field conditions. *Agricultural Water Management*. 2004. *Article in press*.
- Soares, J.M.; Costa, F.F. Irrigação. In: Informações técnicas sobre a cultura da mangueira no semi-árido brasileiro. EMBRAPA, Brasília, 1995. Cap. 2, p.43-80.

Soares, J.M.; Costa, F.F.; Santos, C.R. Manejo de irrigação em frutíferas. In: Faria, M.S.; Silva, É.L.; Vilela, L.A.A.; Silva, A.M. (ed). Manejo de Irrigação. Poços de Caldas: DE/UFLA, 1998. Cap 4, p.281-308.

Sousa, I. F. Manejo de irrigação, consumo hídrico e produtividade do coqueiro anão verde nos tabuleiros costeiros norte do Estado de Sergipe. Campina Grande: CDRN/UFCG, 2005, 143p. (Tese de doutorado).

Sousa, V.F.; Coelho, E.F.; Andrade Junior, A.S.; Folegatti, M.V.; Frizzone, J.A. Eficiência do uso de água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.2, p.183-188. 2000.

SRINIVAS, K.; HEGDE, D.M.; HAVANAGI, G.V. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of watermelon. (*Citrullus lanatus* (Thamb) Matsum et Nakai) under drip and furrow. Journal of Horticultural Science, Ashford, v. 64, n.1, p.115-124, 1989.

Strabbioli, G. A study on strawberry water requirements. Annali dell'Intituto Sperimentale per la Frutticoltura, Italia, v.16, n.1, p.75-84. 1985.

Teixeira, A. H. de; Azevedo, P. V. et al. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, p. 327-330, 1999.

van Genuchten, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.44, p.892-989, 1980

Zhang, Y.; Kendy, E.; Qiang, Y.; Changming, L.; Yanjun.; Hongyong. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.64, n.1, p.107-122, 2004.