



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JEFFERSON GONÇALVES AMÉRICO NOBRE

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES DA PISCICULTURA NO CULTIVO DA
GOIABEIRA EM AMBIENTE DE SEMIÁRIDO**

FORTALEZA

2013

JEFFERSON GONÇALVES AMÉRICO NOBRE

IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES DA PISCICULTURA NO CULTIVO DA GOIABEIRA
EM AMBIENTE DE SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Dr. Valdemício Ferreira de Sousa.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N672i Nobre, Jefferson Gonçalves Américo.
Irrigação com efluentes da piscicultura no cultivo da goiabeira em ambiente de semiárido / Jefferson
Gonçalves Américo Nobre. – 2013.
151 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.
Orientação: Prof. Dr. Valdemício Ferreira de Sousa.

1. Uso múltiplo de água. 2. Integração agricultura-piscicultura. 3. Biofertilização. 4. Manejo de irrigação.
5. Água residuária na irrigação. I. Título.

CDD 630

JEFFERSON GONÇALVES AMÉRICO NOBRE

IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES DA PISCICULTURA NO CULTIVO DA GOIABEIRA
EM AMBIENTE DE SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovado em: 22 / 03 / 2013 .

BANCA EXAMINADORA

Dr. Valdemício Ferreira de Sousa (Orientador)
Embrapa Cocais

Ph.D. Luis Carlos Nogueira (Conselheiro)
Embrapa Cocais

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr^a. Albanise Barbosa Marinho
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

Prof. Dr^a. Waleska Martins Eloi
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Aos meus pais, José Elzir Américo Nobre
e Zuleide Gonçalves Nobre, que nunca
ponderaram esforços para meus estudos.
Aos irmãos Jaderson, Jeniffer e Jéssica,
pelo amor fraterno e cumplicidade de sempre.

OFEREÇO

À minha esposa, Manuela Benigno Soares Nobre
Responsável pelo homem que me tornei,
por me engrandecer a cada dia com seu convívio,
e pelo apoio incondicional em todas as metas
que traço em minha vida.

DEDICO

“A agricultura é a maior invenção da humanidade. Invenção esta que ainda não está terminada.” (Norman Ernest Borlaug, Nobel da Paz de 1970)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, minha segunda casa, que por 12 anos tem sido uma fonte de conhecimento e de aprendizado profissional.

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Capes, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio no Brasil.

Ao Convênio Capes-Fundación Carolina, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio no exterior (Espanha), para a realização do Doutorado Sanduíche.

Ao Dr. Valdemício Ferreira de Sousa, pela paciência, excelente orientação acadêmica e profissional, e, pelas contribuições por meio de muito trabalho e boas ideias na pesquisa de campo, realizada no município de Santa Rosa do Piauí-PI.

À Embrapa Meio-Norte, pela facilitação da realização do trabalho de campo com boas estruturas e suporte técnico.

À Codevasf, pela disponibilização da área de realização do trabalho de campo.

Aos participantes da Banca Examinadora: Ph.D. Luis Carlos Nogueira, Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Prof^a. Albanise Barbosa Marinho, Prof^a. Waleska Martins Eloi, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelas reflexões, críticas e sugestões.

Aos amigos Danielle Araújo, Carlos Alexandre, Dimas Oliveira, Deodato, Fernando, pelo ótimo convívio e troca de saberes durante o curso de doutorado.

Aos amigos Alan Diniz, Leila e Adriano que foram essenciais e contribuíram significativamente na reta final deste curso.

Ao Prof. Thales Vinícius de Araújo Viana, por quem tenho muito apreço, pela solicitude em sempre ajudar.

Aos amigos Prof. Benito Moreira de Azevedo e Denise Vasconcelos, que contribuíram e foram determinantes para a realização do Doutorado Sanduíche na Espanha.

À Universidad Politécnica de Valencia, pelo acolhimento e disponibilização de toda estrutura necessária em minha estadia na Espanha.

Ao Prof. Juan Manzano Juárez, por me receber como seu orientado na Espanha e pelos valiosos ensinamentos.

À minha esposa Manuela, minha revisora de texto particular.

Muito Obrigado!!!

RESUMO

A integração dos sistemas de produção agricultura-piscicultura é considerada uma alternativa de sustentabilidade para regiões que sofrem com a escassez dos recursos hídricos e uma forma de racionalizar o uso da água, mesmo em regiões que apresentam condições de segurança hídrica. Entretanto, para que a otimização desse sistema integrado seja justificável, necessita-se de apropriação dos processos envolvidos, dentre eles: a quantidade de efluente a ser aplicado às culturas vegetais; a real contribuição do efluente da piscicultura quanto ao aporte de nutrientes e a possibilidade de uso restritivo do efluente bruto. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento da goiabeira irrigada com efluente do cultivo da tilápia em um experimento instalado no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí – PI, administrado pela Codevasf. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, definidos em função do nível de irrigação, que corresponderam a 25 %; 50 %; 75 %; 100 %; 125 % e 150 % da ETo, estimada pelo método Penman-Monteith/FAO. Foram avaliadas por dois anos as características relacionadas: ao estado de água no solo; ao crescimento e produção da goiabeira; à distribuição do sistema radicular da goiabeira; ao desenvolvimento da cobertura vegetal; ao coeficiente de redução da evapotranspiração (K_r); ao cultivo da tilápia; ao efluente da piscicultura e à fertilidade do solo. Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e, quando verificado efeito significativo, os de natureza qualitativa foram comparados através do teste de Tukey, e os de natureza quantitativa foram submetidos à análise de regressão. O crescimento, a produção e a qualidade física de frutos da goiabeira tendem a aumentar linearmente com o incremento da lâmina de irrigação com efluente da piscicultura. A produtividade total da goiabeira aumenta linearmente com a elevação das lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, até a produtividade de 6.537 kg ha^{-1} , para lâmina de 1.059 mm por ano. A distribuição do sistema radicular da goiabeira foi influenciada pela lâmina de irrigação de efluente da piscicultura aplicada. O déficit hídrico provocado pela aplicação de menores lâminas de irrigação induz a elevação do crescimento das raízes da goiabeira, tanto no sentido horizontal quanto no vertical. A adição de nutrientes ao solo por meio da aplicação do efluente da piscicultura tende a reduzir a aplicação de nutrientes (N e P_2O_5) necessários ao desenvolvimento e à produção da goiabeira. O uso múltiplo de água, resultado da integração agricultura-piscicultura, favorece o desenvolvimento de plantas da goiabeira, otimiza o uso da água e reduz custos de produção do sistema.

Palavras-chave: Uso múltiplo de água. Integração agricultura-piscicultura. Manejo de irrigação.

ABSTRACT

The integration of agriculture-aquaculture production is considered as a sustainable alternative for regions that suffer from water resources shortage and a way to rationalize the water use even in regions without problems of water security. However, in order to ensure the optimization of this integrated system some variables and processes need to be studied and well known such as the amount of effluent to be applied to crops, the real contribution of aquaculture effluent on the supply of nutrients and the possibility of restrictive use of raw effluent. The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation with effluent from the cultivation of tilapia in guava plantation in an experiment installed on the Pilot Project for Irrigated Fruit Crop Production of *Santa Rosa do Piauí*, in *Piauí* state, Brazil, which is administered by Codevasf. The experimental design used was the randomized blocks design with six treatments and four replications, based on irrigation levels, which accounted for 25 %, 50 %, 75 %, 100 %, 125 % and 150 % of ETo estimated by Penman-Monteith/FAO method. During two years several different variables were monitored such as the soil water status; growth and production of guava; distribution of root system; development of the crop canopy; coefficient of reduction of evapotranspiration (K_r); tilapia cultivation; aquaculture effluent; and soil fertility. The data of the evaluated variables were subjected to analysis of variance by F test. When significant effect was observed, the Tukey test was used to compare those variables with qualitative nature and regression analysis was used for those variables with quantitative nature. The growth, production and physical quality of fruits of guava crop tend to increase linearly with the increment of water depth with effluent from fish farms. The total yield of guava increases linearly with the increase of irrigation depth with aquaculture effluent up to the productivity of $6,537 \text{ kg ha}^{-1}$ for 1,059 mm of irrigation per year. The distribution of the root system was influenced by the irrigation with effluent from aquaculture applied. The water deficit caused by the application of smaller irrigation depths induces the elevation of guava root growth, both horizontally and vertically. The addition of nutrients to the soil through application of fish farming wastewater tends to reduce application of nutrients (N and P_2O_5) necessary for the development and production of guava crop. Multiple use of water as a result of integration aquaculture-agriculture foment the development of the guava plants, optimizes water use, and reduces production costs of the integrated system.

Keywords: Multiple use of water. Integration agriculture-aquaculture. irrigation management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização do município de Santa Rosa do Piauí-PI e do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.....	35
Figura 2 -	Localização da área experimental no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.....	36
Figura 3 -	Planta de goiabeira “cultivar Paluma”.....	38
Figura 4 -	Cabeçal de controle utilizado para a fertirrigação do experimento.....	39
Figura 5 -	Reservatório Pulmão do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí, utilizado para a irrigação da goiabeira e para o cultivo da tilápia.....	41
Figura 6 -	Poda de frutificação realizada no segundo ciclo da cultura, em junho de 2009.....	43
Figura 7 -	Gafanhotos coletados manualmente em agosto de 2009.....	44
Figura 8 -	Croqui da área experimental, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.....	45
Figura 09 -	Preparo das plantas para a obtenção de imagens das raízes no perfil do solo.....	49
Figura 10 -	Preparação das imagens de raízes e seu processamento no Siarcs 3.0..	50
Figura 11 -	Estrutura de madeira utilizada para a obtenção das imagens aéreas da cobertura vegetal da goiabeira.....	52
Figura 12 -	Preparação das imagens de cobertura vegetal e seu processamento no Siarcs 3.0.....	53
Figura 13 -	Estação agrometeorológica automática, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.....	54
Figura 14 -	Curva característica de umidade do solo da área experimental.....	56
Figura 15 -	Reservatório pulmão utilizado para a irrigação da goiabeira e para o cultivo dos peixes.....	58
Figura 16 -	Sistema de escoamento do reservatório pulmão utilizado para irrigação da goiabeira e para o cultivo dos peixes.....	59
Figura 17 -	Povoamento do reservatório de irrigação da goiabeira com juvenis de tilápia, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.	60

FIGURA 18 -	Manejo do cultivo e biometria de tilápia no reservatório pulmão de irrigação da goiabeira, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.....	62
Figura 19 -	Resumo cronológico da execução do experimento.....	65
Figura 20 -	Lâminas totais de água aplicadas para o estabelecimento da cultura, na fertirrigação, precipitação efetiva e irrigação em função dos níveis de irrigação adotados.....	69
Figura 21 -	Potencial matricial do solo (kPa) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2008.....	74
Figura 22 -	Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2008.....	75
Figura 23 -	Distribuição de umidade do solo, média da umidade do solo e CAD na camada de 0,00 m – 0,60 m por tratamento, no ano de 2008.....	76
Figura 24 -	Potencial matricial do solo (kPa) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2009.....	78
Figura 25 -	Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2009.....	79
Figura 26 -	Distribuição de umidade do solo, média da umidade do solo e CAD na camada de 0,00 m – 0,60 m por tratamento, no ano de 2009.....	80
Figura 27 -	Médias dos valores das características morfológicas da goiabeira por lâmina de irrigação aplicada, no ano de 2008.....	83
Figura 28 -	Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008.....	85
Figura 29 -	Médias dos valores das características morfológicas da goiabeira por lâmina de irrigação aplicada, no ano de 2009.....	89
Figura 30 -	Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009.....	90
Figura 31 -	Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009.....	92
Figura 32 -	Análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008	96
Figura 33 -	Análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009	100

Figura 34 -	Características de produção da goiabeira proporcionadas pelo tratamento T6 para o 1º e 2º Ciclos de Produção.....	105
Figura 34 -	Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em área (cm ²), em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008.....	113
Figura 36 -	Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual da área total de raízes na camada avaliada, em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008.....	114
Figura 37 -	Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em comprimento das raízes (cm), em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008.....	115
Figura 38 -	Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual do comprimento linear total de raízes na camada avaliada, em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008.....	116
Figura 39 -	Análise de regressão da área da cobertura vegetal e da percentagem de área sombreada em função dos dias após a poda, no ano de 2009....	119
Figura 40 -	Evolução do coeficiente de redução (Kr) da goiabeira cultivar Paluma irrigada por microaspersão.....	121
Figura 41 -	Análises de regressão das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características físico-químicas do solo da área experimental.....	37
Tabela 2 -	Valores utilizados no manejo alimentar de tilápia nilótica durante o experimento.....	61
Tabela 3 -	Valores médios de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, saldo de radiação, evapotranspiração de referência e precipitação, Santa Rosa do Piauí - PI (2008 e 2009).....	68
Tabela 4 -	Lâminas totais de água (mm) aplicadas nos tratamentos durante o período de realização do experimento, Santa Rosa do Piauí - PI (2008-2009).....	70
Tabela 5 -	Resumo da análise de variância do potencial matricial e umidade do solo em função dos níveis de irrigação e profundidade de instalação dos tensiômetros, ano de 2008.....	72
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância do potencial matricial e umidade do solo em função dos níveis de irrigação e profundidade de instalação dos tensiômetros, ano de 2009.....	72
Tabela 7 -	Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2008.....	82
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008.....	82
Tabela 9 -	Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008.....	84
Tabela 10 -	Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009.....	87
Tabela 11 -	Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009.....	88

TABELA 12 -	Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009.....	90
Tabela 13 -	Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009.....	91
Tabela 14 -	Resumo da análise de variância das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008.....	93
Tabela 15 -	Resumo das análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008.....	94
Tabela 16 -	Resumo da análise de variância das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009.....	98
Tabela 17 -	Resumo das análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009.....	99
Tabela 18 -	Resumo da análise de variância da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em função da interação lâminas de irrigação, distância do caule da planta e profundidade, no ano de 2008.....	107
Tabela 19 -	Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em área de raízes (cm ²), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008.....	108
Tabela 20 -	Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual da área de raízes (%), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008.....	109
Tabela 21 -	Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em comprimento de raízes (cm), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008.....	110

TABELA 22 -	Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual do comprimento de raízes (%), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008.....	111
Tabela 23 -	Resumo da análise de variância do desenvolvimento da área foliar e área sombreada em função dos níveis de irrigação e de dias após a poda, no ano de 2009.....	118
Tabela 24 -	Estádios para a cultura da goiabeira em função dos dias após a poda de frutificação e do Índice de Cobertura Vegetal.....	120
Tabela 25 -	Coefficiente de Redução da Evapotranspiração (Kr) médios para a cultura da goiabeira no 2º ano de produção.....	121
Tabela 26 -	Resumo da análise de variância das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009.....	123
Tabela 27 -	Resumo das análises de regressão das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009.....	124
Tabela 28 -	Resumo dos indicadores de desempenho dos cultivos de tilápia nos ciclos e médios, nos anos de 2008 e 2009.....	127
Tabela 29 -	Valores médios de pH e CE do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI.....	128
Tabela 30 -	Valores médios de concentração de cátions e ânions do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí – PI.....	131
Tabela 31 -	Valores médios de concentração de compostos nitrogenados e fosfatado, do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí – PI.....	131
Tabela 32 -	Quantidade de nitrogênio aplicado via irrigação, advindo dos efluentes da piscicultura, por tratamento, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI.....	134
Tabela 33 -	Quantidade de fósforo aplicado via irrigação, advindo dos efluentes	

	da piscicultura, por tratamento, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI.....	134
Tabela 34 -	Comparativo entre a análise química do solo antes da irrigação com o efluente da piscicultura e depois do final do experimento, Santa Rosa do Piauí – PI (2008-2009).....	137
Tabela 35 -	Redução na aplicação de ureia, considerando o aporte de nitrogênio do efluente da piscicultura de um ciclo.....	138
Tabela 36 -	Redução na aplicação de superfosfato simples (S.S.), considerando o aporte de fósforo do efluente da piscicultura de um ciclo.....	138
Tabela 37 -	Custo total (C_{fx}) de produção da goiabeira com três anos de idade, Santa Rosa do Piauí-PI, 2009.....	139

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	QUESTÕES, HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	21
2.1	Questões técnico-científicas.....	21
2.2	Hipóteses.....	21
2.3	Objetivos.....	21
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
3.1	Integração agricultura-piscicultura.....	23
3.2	Efluentes da piscicultura.....	25
3.3	Cultura da goiabeira.....	27
3.4	Irrigação da goiabeira.....	29
3.5	Manejo de irrigação.....	32
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1	Localização e caracterização da área experimental.....	35
4.2	Cultivo da goiabeira.....	36
4.2.1	<i>Área experimental.....</i>	36
4.2.2	<i>Características da goiabeira cultivar Paluma.....</i>	37
4.2.3	<i>Instalação e condução da cultura no campo.....</i>	38
4.2.3.1	<i>Plantio.....</i>	38
4.2.3.2	<i>Adubação.....</i>	39
4.2.3.3	<i>Sistema de irrigação.....</i>	40
4.2.3.4	<i>Podas.....</i>	42
4.2.3.5	<i>Colheita.....</i>	43
4.2.3.6	<i>Tratos fitossanitários.....</i>	43
4.2.4	<i>Delineamento experimental.....</i>	44
4.2.4.1	<i>Características morfológicas de crescimento e de produção da goiabeira....</i>	44
4.2.4.2	<i>Perfil do estado da água no solo.....</i>	46
4.2.4.3	<i>Distribuição do sistema radicular da goiabeira.....</i>	46
4.2.4.4	<i>Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira.....</i>	46
4.2.4.5	<i>Características de crescimento dos peixes.....</i>	46
4.2.5	<i>Características avaliadas.....</i>	47
4.2.5.1	<i>Características morfológicas de crescimento de plantas da goiabeira.....</i>	47

4.2.5.2	<i>Características de produção da goiabeira.....</i>	47
4.2.5.3	<i>Distribuição do sistema radicular da goiabeira.....</i>	48
4.2.5.4	<i>Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira.....</i>	52
4.3	Análise química do solo no final do experimento.....	52
4.4	Manejo de irrigação.....	53
4.4.1	<i>Cálculo das lâminas de irrigação.....</i>	53
4.4.2	<i>Cálculo do volume aplicado.....</i>	55
4.4.3	<i>Cálculo do tempo de irrigação.....</i>	55
4.5	Perfil do estado da água no solo.....	56
4.6	Cultivo da tilápia.....	57
4.6.1	<i>Instalações.....</i>	57
4.6.2	<i>Manejo da piscicultura.....</i>	59
4.6.3	<i>Características avaliadas.....</i>	61
4.6.3.1	<i>Características de crescimento dos peixes.....</i>	61
4.6.3.2	<i>Indicadores de desempenho dos peixes.....</i>	62
4.6.3.3	<i>Análise química do efluente da piscicultura.....</i>	64
4.7	Resumo cronológico do experimento.....	64
4.8	Avaliação financeira do uso múltiplo de água na irrigação e piscicultura.....	65
4.9	Análise estatística.....	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
5.1	<i>Características climáticas no período.....</i>	67
5.2	<i>Lâminas totais de água aplicadas.....</i>	69
5.3	<i>Perfil do estado de água no solo.....</i>	71
5.4	<i>Lâminas de irrigação no crescimento de plantas e na produção da goiabeira.....</i>	81
5.4.1	<i>Características morfológicas de crescimento de plantas da goiabeira.....</i>	81
5.4.2	<i>Características de produção da goiabeira.....</i>	92
5.4.3	<i>Distribuição do sistema radicular da goiabeira.....</i>	106
5.4.4	<i>Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira.....</i>	118
5.4.5	<i>Estimativa do coeficiente de redução da evapotranspiração (Kr).....</i>	121
5.5	Cultivo da tilápia.....	123
5.5.1	<i>Características de crescimento dos peixes.....</i>	123

5.5.2	<i>Indicadores de desempenho dos peixes.....</i>	125
5.5.3	<i>Análise química do efluente da piscicultura.....</i>	127
5.5.4	<i>Efeito do efluente sobre as características químicas do solo.....</i>	135
5.5.5	<i>Redução na aplicação de fertilizantes.....</i>	138
5.6	Avaliação financeira do uso múltiplo de água na irrigação da goiabeira e produção de tilápia.....	139
6	CONCLUSÕES.....	142
	REFERÊNCIAS.....	143

1 INTRODUÇÃO

A população mundial vem crescendo a taxas assustadoras e, junto com ela, a demanda por alimento. De acordo com Ongley (2001), a irrigação é considerada um componente essencial de qualquer estratégia para aumentar o suprimento mundial de alimentos. No entanto, as áreas irrigadas são, de longe, as maiores consumidoras, respondendo por cerca de 70 % a 85 % de todas as retiradas de água doce procedente de lagos, cursos de água e aquíferos (GARCES-RESTREPO; VERMILLION; MUÑOZ, 2007).

Além da grande demanda por alimentos, resultando em significativa demanda de água para a produção de alimentos, na atualidade, a utilização da água tem sido democratizada e evoluiu para uma multiplicidade de usos, deixando de ter como principais utilizações o abastecimento humano, a desedentação animal e a produção agrícola, para ter utilização em sistemas integrados de produção, balneabilidade, complexos industriais, dentre outros usos interdependentes.

Todavia, como a quantidade e a qualidade das águas estão cada vez mais afetadas pela ação antrópica, as regiões que sofrem com sua escassez devem ser pioneiras na produção de tecnologias e técnicas que visem dar suporte ao uso racional e à redução dos desperdícios dos recursos hídricos. Uma alternativa para essas regiões seria o reaproveitamento de águas menos nobres em atividades econômicas, ambientais e que promovam a segurança alimentar, como exemplo a integração da agricultura-piscicultura.

Nesse sentido, o semiárido merece atenção especial, dentre as regiões brasileiras que poderiam ser utilizadas para ampliação de produção agropecuária, pois apresenta enorme potencial de exploração. A alta quantidade de luz incidente, que permite produzir alimentos durante todo o ano, e a baixa infestação por pragas e doenças ressaltam as qualidades do semiárido nordestino como região de elevado potencial produtivo.

Considerando essa região privilegiada para a produção agrícola, as fruteiras tropicais possuem papel de destaque, pois, além de serem totalmente adaptadas às condições edafoclimáticas, geralmente garantem alto retorno por área e são culturas que exigem elevado emprego de mão-de-obra. Dessa forma, a goiabeira, que pode ser cultivada em diversos ecossistemas, apresenta-se como uma oportunidade para geração de trabalho e renda, além de ampliar a oferta de produtos *in natura* e matéria prima para indústrias alimentícias.

Para a produção da goiabeira, deve-se considerar também suas necessidades hídricas, que giram entre 800 mm a 1.000 mm de água bem distribuídos durante o ano. Manica *et al.* (2000) adverte que, mesmo em regiões onde a precipitação anual ultrapassa

1.000 mm, a falta de água disponível no solo, em épocas de elevada necessidade hídrica da goiabeira, pode resultar na formação de frutos pequenos, e, conseqüentemente, em menor produção por planta. Para as condições semiáridas, que na maioria das vezes esse condicionamento seria um empecilho, a utilização de irrigação complementar seria a alternativa. De acordo com Gonzaga Neto (1990), a goiabeira cultivada com irrigação e com poda, além de apresentar níveis de produtividade elevados (40 a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹), produz durante todo o ano.

Bassoi *et al.* (2002) e Ferreira (2004) estabeleceram que a necessidade hídrica adequada para a cultura da goiabeira deve se situar entre o potencial mátrico de -40 kPa e -10 kPa, para obter produtividades satisfatórias. Não obstante, para os solos recorrentes no semiárido, a manutenção do potencial matricial do solo nesse intervalo somente é possível por meio da irrigação.

A aplicação de nutrientes via água de irrigação, ou fertirrigação, é uma prática empregada na agricultura irrigada, constituindo-se no meio mais eficiente de nutrição, pois combina dois fatores essenciais para o crescimento, desenvolvimento e produção: a água e os nutrientes (PAPADOPOULOS, 2001; BORGES, 2004). Além disso, permite flexibilizar a aplicação dos nutrientes, que pode ser fracionada segundo a marcha de absorção da cultura nos seus diferentes estádios (SOUSA; SOUSA, 1998). Considerando essa forma de aplicação de nutrientes, a irrigação com efluentes da piscicultura às culturas não deixa de ser uma fertirrigação, podendo até mesmo ser considerada como biofertilização (EMBRAPA, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008). De acordo com Haynes (1985), a economia de fertilizantes por meio da fertirrigação pode ser da ordem de 25 a 50 %. Assim, a irrigação com efluente da piscicultura se mostra uma ótima alternativa de economia de fertilizantes.

O uso múltiplo de água, resultado da integração agricultura-piscicultura, favorece o desenvolvimento das plantas cultivadas, otimiza o uso da água, reduz custos de aplicação de fertilizantes, reduz custos de produção das duas atividades, melhora a fertilidade dos solos, contribui para a não degradação de corpos hídricos e melhora a qualidade de água dos viveiros de peixes.

Para a piscicultura realizada em tanques escavados, é necessário a obtenção da licença ambiental para a atividade, apresentando a classificação de Médio Potencial Poluidor-Degradador. Na grande maioria das vezes, essa atividade é realizada próximo a rios e riachos, onde o efluente da piscicultura é desaguado. Dependendo da situação, por exemplo, a alta taxa de descarga da atividade sobre um corpo hídrico que não a suporta, o órgão responsável pelo licenciamento poderá negá-lo. Assim, a integração da piscicultura com a agricultura irrigada

poderá ser uma alternativa, além de econômica, ambiental, para realização da atividade da piscicultura.

Dessa forma, devido à necessidade de maiores estudos quanto ao uso múltiplo de água, às necessidades hídricas da cultura da goiabeira e à contribuição dos efluentes do cultivo de peixes, via irrigação, e do ganho ambiental dessa integração, faz-se oportuno o desenvolvimento de pesquisas que possam auxiliar o trabalho dos agentes de extensão, técnicos, produtores e pessoas afins, com informações de cunho técnico e precisas, resultado das pesquisas. Dentro desse contexto, a adoção da tecnologia do uso múltiplo de água deve ser respaldada por recomendações adequadas de manejo de água e nutrientes que permitam o seu uso racional.

2 QUESTÕES, HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Questões técnico-científicas

A pesquisa tem como embasamento, quatro questões técnico-científicas:

1. Qual é a importância do uso múltiplo de água no ambiente de semiárido?
2. Qual é a disponibilidade de nutrientes de efluentes da piscicultura em reservatórios para utilizar em irrigação?
3. Qual é a necessidade hídrica da cultura da goiabeira?
4. A integração agricultura-piscicultura trará retorno econômico-financeiro aos produtores que fazem uso desse sistema de produção?

2.2 Hipóteses

As questões levantadas suscitam algumas hipóteses, que se deseja testar. As principais questões desta pesquisa são:

1. O uso sucessivo de um recurso hídrico para diferentes atividades traz benefícios ao ambiente de semiárido;
2. O efluente da piscicultura possui nutrientes suficientes para reduzir os custos com fertilizantes comerciais;
3. A composição química do efluente da piscicultura não causa toxidez às plantas de goiabeiras em nenhum dos níveis de irrigação;
4. A necessidade hídrica da goiabeira pode ser determinada a partir da estimativa da evapotranspiração de referência, pelo método Penman-Monteith/FAO, e pelo fator de redução de evapotranspiração; e,
5. A integração agricultura-piscicultura pode ser considerada uma estratégia de convivência com o semiárido, tendo como foco a sustentabilidade.

2.3 Objetivos

Partindo das questões e hipóteses mencionadas, os objetivos desta tese são:

Objetivo geral: Avaliar o efeito do uso de água do cultivo de tilápia na irrigação da goiabeira, em ambiente de semiárido, visando caracterizar o seu uso múltiplo e potencializar sua eficiência.

Objetivos específicos:

1. Avaliar o crescimento e a produção da cultura da goiabeira irrigada com efluentes do cultivo da tilápia;
2. Determinar e/ou ajustar a necessidade hídrica da goiabeira a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método Penman-Monteith/FAO;
3. Avaliar, ajustar e definir lâminas de irrigação capazes de elevar a produtividade da goiabeira;
4. Avaliar a distribuição do sistema radicular da goiabeira utilizando sistema de irrigação por microaspersão;
5. Determinar o aporte de nutrientes dos efluentes do cultivo da tilápia ao agroecossistema de produção da goiabeira; e,
6. Analisar a eficiência financeira do uso múltiplo de água dos reservatórios de irrigação para produção de goiaba e peixes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Integração agricultura-piscicultura

Segundo Santos (2009), a utilização da água somente para um único fim, como a irrigação, é ineficiente por si só, e os consideráveis benefícios do sistema integrado agricultura-piscicultura, em substituição à tradicional agricultura irrigada, são considerados racionais e inevitáveis para a agricultura moderna. Agricultura-piscicultura é definida como uma atividade de alta eficiência que possibilita ofertas cada vez maiores de produtos dos ecossistemas, em quantidade e qualidade, para os consumidores (FAO, 2007).

Dentre os sistemas de produção de alimentos que mais cresce, estão a agricultura irrigada e a piscicultura. A agricultura irrigada responde por cerca de 20% de toda a área agrícola do mundo, por 40% da produção mundial de alimento e por cerca de 70% do consumo de água doce (FAO, 2010). Por sua vez, a piscicultura continental cresceu, de 1998 a 2009, a uma média anual de 8%, atingindo em 2009 uma produção total mundial de 33,2 milhões de toneladas (FAO, 2010).

Visando o atendimento da crescente demanda de alimentos, oriunda da agricultura ou da pecuária, os setores produtivos lançam mão, a cada dia, de maiores volumes de água, principalmente na irrigação das culturas e no cultivo de peixes. Assim, cada uma dessas atividades, quando realizadas de forma independentes, sobrecarrega a oferta de recursos hídricos tanto em quantidade como em qualidade. Logo, essa sobrecarga, de alguma forma, será prejudicial ao meio ambiente, devido o esgotamento dos recursos hídricos ou por sua degradação química.

Esse tipo de sistema de produção integrado não é recente. Na Indonésia, a tradição do cultivo de peixes em arrozais é antiga e amplamente praticada nas áreas irrigadas de Java ocidental. Os peixes produzidos nos arrozais são, principalmente, alevinos para repovoamento de sistemas de engorda, em gaiolas flutuantes de rede e bambu, tanques de cimento com água corrente e sistemas em canais de irrigação (CRUZ, 2003). Entretanto, mesmo que seu uso seja recorrente, pouco se conhece dos ganhos ambientais, econômicos e sociais dessa atividade integrada. Segundo Chaves e Silva (2006), é de fundamental importância integrar a piscicultura com a agricultura irrigada, pois resulta em maior diversidade de produtos ou aproveitamento de recursos não explorados, já que se realizam duas atividades com a mesma água.

De acordo com Boyd (2003), diversos impactos ambientais resultantes da expansão descontrolada da piscicultura têm motivado muitas críticas. Como principais impactos pode-se citar: destruição de manguezais, áreas de inundação e outros ambientes aquáticos sensíveis por projetos aquícolas; conversão de terras agrícolas em tanques aquícolas; poluição da água resultante dos efluentes dos tanques de engorda; uso excessivo de drogas, antibióticos e outros produtos químicos para controle de enfermidades dos animais aquáticos; utilização ineficiente de rações e outros recursos naturais para produção de peixes, camarões e outros animais aquáticos; salinização de terras e águas por efluentes, esgotos e sedimentos de águas salobras provenientes de sistemas de engorda; uso excessivo de água subterrânea e outras fontes de água doce para abastecimento de tanques; propagação de doenças animais da cultura de organismos para populações nativas; efeitos negativos sobre a biodiversidade causados pela fuga de espécies não-nativas introduzidas para produção; destruição de pássaros e outros predadores; e, conflitos com outros usuários dos recursos hídricos.

Dentre as várias fontes de contaminação das águas, a proveniente da piscicultura tem chamado atenção de pesquisadores em todo o mundo. Segundo Silva (2008), o lançamento de efluentes provenientes das atividades de piscicultura em corpos hídricos, sem um tratamento prévio, aumenta os níveis de fósforo e nitrogênio presentes nos excretas dos peixes e nas rações que os alimentam.

Assim, o lançamento do efluente da piscicultura às plantas traz benefícios, tanto à cultura, devido ao aporte de nutrientes - principalmente nitrogênio e fósforo, quanto ao meio ambiente, pois a descarga não estará sendo realizada diretamente nos corpos hídricos, evitando assim sua degradação. Para Santos (2009), em se tratando de integração agricultura-piscicultura, o principal benefício econômico é claramente a produção e a comercialização de peixes, sem qualquer aumento no consumo de água. Paralelamente, ocorre o aproveitamento de efluentes aquícolas, ricos em nutrientes para a irrigação.

De acordo com Olsen, Fitzsimmos e Moore (1993), a forma mais eficiente de promover a integração entre a piscicultura e a agricultura é aquela em que a água aplicada na irrigação das culturas seja previamente utilizada no cultivo de peixes. Azevedo *et al.* (2008) avaliaram que a qualidade da água é o fator de maior influência na alta taxa de mortalidade de peixes cultivados em viveiros, reflexo do acúmulo de altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados.

Velasco, Lawrence e Castille (1999); Lawrence, Velasco e Castille (2003) verificaram que o acúmulo de fósforo total é prejudicial à produção dos animais na

piscicultura. Relataram, ainda, que as rações têm sido identificadas como o poluente mais importante na composição dos efluentes. Em outros estudos, verificou-se que, no caso do fósforo, 83,4% são provenientes dos alimentos artificiais (rações), dos quais apenas 6,1% do fósforo contido na ração são incorporados à biomassa de camarão e 30,3% são perdidos para o ambiente através dos efluentes (PÁEZ-OSUNA *et al.*, 1997, 1998, 1999).

Ghate e Burtle (1993) determinaram que a quantidade média aplicada de nitrogênio via irrigação com efluente do cultivo de bagre, em canais de irrigação, foi de 0,38 kg ha⁻¹ a 0,57 kg ha⁻¹, logo, uma redução de 1,87 a 2,85 kg de ureia ha⁻¹.

A integração agricultura-piscicultura tem melhorado significativamente a produção agrícola e a sustentabilidade em muitas partes do mundo. Isso ocorre porque o processo integrado proporciona a recuperação e o reuso de recursos como nutrientes e água, reduzindo, assim, a poluição ambiental (KUMAR, 2000).

Dhawan e Sehdev (1994) demonstraram uma menor perda de nutrientes e energia para áreas vizinhas na integração piscicultura-agricultura do que nos sistemas convencionais de monocultura. Além disso, a construção de viveiros em uma propriedade agrícola ajuda na manutenção do lençol freático.

Billard e Servrin-Reyssac (1992); Castro, Azevedo e Barbosa (2005); Lima *et al.* (2008); Santos (2009); Júnior (2011); e, Gomes, Júnior e Brito (2012) afirmaram que a irrigação com o efluente da piscicultura, realizada em viveiros (tanques escavados), reduz o impacto ambiental da descarga de águas ricas em nutrientes nos corpos hídricos ou a necessidade de tratamento desses. De acordo com Gasca-Leyva (2000), além dos ganhos ambientais e econômicos inerentes à otimização de recursos nas duas atividades, a segurança alimentar para as comunidades circunvizinhas é garantida, aumentando a oferta de proteína de alta qualidade e interação sinérgica entre os cultivos agrícolas e aquícolas.

3.2 Efluentes da piscicultura

Dentre as características da água, as que mais afetam e limitam a produção de peixes, em qualquer sistema de cultivo, são: físicas - como temperatura e transparência; e químicas - como oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade total, gás carbônico, condutividade elétrica, salinidade, dureza, amônia, nitrito, nitrato e fósforo (LOVELL, 1989).

No processo de produção de peixes, é inevitável o acúmulo de resíduos orgânicos (sendo o volume de fezes excretado diariamente pela população de peixes a principal fonte) e metabólicos nos tanques de viveiros em sistemas de renovação de água intermitentes

(HUSSAR *et al.*, 2002). Segundo Kubitzka (2000), 25 a 30% da matéria seca não digestível das rações fornecidas entram nos sistemas de piscicultura como material fecal, e, a decomposição desse material nos tanques é feita principalmente por ação microbiológica, resultando no acúmulo de metabólitos tóxicos aos organismos aquáticos (amônia, nitrito e gás carbônico).

Os principais poluentes potenciais encontrados nos efluentes de piscicultura são o nitrogênio, o fósforo, a matéria orgânica e os sólidos em suspensão (SCHWARTZ; BOYD, 1994). Os teores de nitrogênio e fósforo nos efluentes de piscicultura variam muito, pois depende do tipo de cultivo (intensivo ou semintensivo) e do tipo de ração utilizada. Schwartz e Boyd (1994); Johnsen, Hillestad e Austreng (1993) obtiveram variações de 29 a 51% de nitrogênio, 7 a 64% de fósforo e 3% de matéria orgânica, no conteúdo da ração, que também podem ser encontrados nos efluentes.

De acordo com Kubitzka (2000), os resíduos orgânicos presentes nos excretas dos peixes sofrem uma degradação biológica por meio da ação de bactérias, fungos e outros organismos aquáticos. A amônia (NH_3), por exemplo, é um metabólito eliminado pelo peixe, podendo ser transformada em nitrito (NO_2^-) e em seguida em nitrato (NO_3^-), através do fenômeno de nitrificação, e esses são absorvidos pelas raízes das plantas como fonte de nitrogênio. Resende (2002), ao comentar esse mesmo processo, disse que, entre as diversas formas de nitrogênio presentes na natureza, a amônia e, em especial, o nitrato podem ser causas da perda de qualidade da água. A amônia, quando presente na água em altas concentrações, pode ser letal aos peixes.

Segundo Westers (2001), em um ambiente aquático, 80 % da amônia é derivada das excretas dos peixes. Para Costa *et al.* (2008), as taxas de excreção de nitrogênio variam com a espécie de peixe. Assim, em tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), chega a 1,7 mg de $\text{NH}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$; em tilápia de Moçambique (*Oreochromis mossambicus*), varia de 1,7 - 9,4 mg de $\text{NH}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$; em carpa (*Cyprinus carpio*), a 4,2 - 25,0 mg de $\text{NH}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$; e, em truta (*Salmo gairdnerii*), varia de 16,7 - 37,5 mg de $\text{NH}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$.

O ortofosfato é a forma de fosfato que está mais prontamente disponível para ser utilizada pelas plantas. Sipaúba-Tavares (2004) relata que todo fósforo no ecossistema aquático está na forma de fosfato, sendo o ortofosfato o mais comum. Do ponto de vista limnológico, todas as formas ou frações de fosfato são importantes, no entanto, o fosfato inorgânico dissolvido (ou ortofosfato, ou fosfato reativo) é o mais relevante por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos. Dessa maneira, a sua quantificação em

pesquisas limnológicas torna-se indispensável. Na água, o ortofosfato pode estar sob diferentes espécies iônicas em função do pH do meio: H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . As águas continentais do Brasil possuem uma faixa de pH mais frequente situada entre 5 e 8, assim, as formas iônicas predominantes são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (GOUVEIA *et al.*, 2007).

Em estudos realizados no México, acompanhando dois ciclos de cultivo de camarões, com densidades médias de 17 camarões m^{-2} , taxas de renovação de 3 a 20% e uso de alimento artificial, foi demonstrado que os sistemas de produção semintensivos são responsáveis por incrementos consideráveis de: sólidos totais suspensos, fósforo disponível, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, dentre outros. Nesse sentido, Velasco, Lawrence e Castille (1999); Lawrence, Velasco e Castille (2003) verificaram que o acúmulo de fósforo total é prejudicial a produção dos animais na aquicultura. Relataram, ainda, que as rações têm sido identificadas como o poluente mais importante na composição dos efluentes.

Costa *et al.* (2008), ao estudar a concentração de ortofosfato, amônia, nitrito e nitrato no cultivo de camarões, utilizando dietas com diferentes níveis de proteína vegetal e animal, obteve valores máximos de concentrações de amônia, nitrito, nitrato e ortofosfato, ao final do cultivo, de $95 \mu\text{g L}^{-1}$, $250 \mu\text{g L}^{-1}$, $105 \mu\text{g L}^{-1}$ e $75 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

3.3 Cultura da goiabeira

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é uma das mais de 3600 espécies da família *Myrtaceae*. Possui origem na região tropical da América do Sul. Trata-se de uma planta de porte arbustivo ou arbóreo com menos de 10 m, possui tronco tortuoso, liso e descamante, e as folhas são simples e de textura coriácea, de 8-12 cm de comprimento por 3-6 cm de largura (LORENZI, 1992). As flores saem sempre de ramos novos, são brancas e perfumadas, cujo principal polinizador é a abelha doméstica ou europeia (*Apis mellífera*). A goiabeira começa a produzir com um ano a um ano e meio de idade, dependendo dos tratamentos culturais. Seus frutos são bagas, com tamanho, forma e coloração da polpa variável, dependendo da cultivar.

Atualmente, encontra-se amplamente difundida por todas as áreas tropicais e subtropicais do mundo (MEDINA, 1991), visto sua habilidade em se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas, o que lhe confere reputação de planta rústica (REY, 1987). Apesar de ser nativa da região tropical, a goiabeira vegeta e produz bem desde o nível do mar até altitudes de 1.700 m (GONZAGA NETO; SOARES, 1994). A goiabeira desenvolve-se bem em quase todos os tipos de solos, principalmente naqueles profundos, permeáveis, com pH em torno de 5,0 - 6,0, porém, não vegeta bem em solos argilosos ou encharcados

(ZAMBÃO; BELLINTANE NETO, 1998). Para desenvolvimento de cultivos comerciais, a condição climática favorável compreende a temperatura média anual entre 23 e 28°C. Para seu cultivo, em sequeiro, é necessário uma precipitação pluviométrica entre 800 e 1.000 mm, distribuídos ao longo do ciclo de produção (SOUZA, BERNARDO e COUTO, 1997). Caso ocorra deficiência hídrica prolongada, pode haver atraso no florescimento e aumento da queda dos frutos. Ventos frios e geadas são altamente prejudiciais à cultura, causando danos físicos tanto em pomares em formação, como a quebra de ramos novos, quanto naqueles em produção, com a ocorrência de danos mecânicos nos frutos (SOUZA; BERNARDO; COUTO, 1997).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, atrás da China e da Índia. Com uma área plantada superior a 2,2 milhões de hectares de fruteiras, produz cerca de 41,2 milhões de toneladas de frutas, o que representa 5,9 % da produção mundial. Apesar disso, exporta pouco, menos de 1% do volume de frutas frescas do mundo (FAO, 2010). Ressalta-se que tanto o mercado nacional quanto internacional não estão plenamente atendidos, e as frutas tropicais devem aumentar sua participação. A tendência de mudança nos hábitos e preferências alimentares dos consumidores, o aumento da idade média da população e a busca por uma vida melhor e mais saudável reforçam a tendência de valorização dos componentes benéficos das frutas.

Nesse contexto, de acordo com Chitarra (1994), a goiabeira encontra-se, atualmente, com perspectiva de conseguir melhor posição na comercialização de frutas e seus derivados, não só pelo elevado valor nutritivo, mas também pela excelente aceitação *in natura* e pela possibilidade de uso industrial, além da capacidade que as plantas têm de se desenvolver em condições adversas.

No processo industrial, a goiabada se destaca como um dos principais doces produzidos a partir de frutos tropicais (MEDINA, 1991), além de participar da preparação de outros produtos como geléias, pastas, frutas em calda, purês, refrescos e xaropes. Recentemente, o tomate para a produção de “catchup” deu lugar à goiaba na fabricação do “guatchup”, agregando valor à fruta. Seu lugar de destaque entre as frutas tropicais, deve-se, no que tange ao valor nutritivo, ao elevado conteúdo de vitamina C e à pectina, e ao sabor e aroma característicos, o que lhe confere qualidade organoléptica tida como excelente, conquistando cada vez mais consumidores em todo o mundo (PEREIRA; MARTINEZ, 1986).

A goiaba é a melhor opção de fruta para o consumo humano no que diz respeito à vitamina C, aos carotenóides, ao potássio, às fibras, ao cálcio e ao ferro, além de possuir baixa

caloria, sendo seu consumo um ótimo meio para prevenção e combate ao câncer (SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999).

Por essas razões, a goiabeira vem sendo cultivada extensivamente no Brasil. Sendo um dos principais produtores mundiais de goiaba, os números dão uma boa ideia de como os produtores estão respondendo à demanda do mercado. A área plantada de goiaba no Brasil aumentou cerca de 94 % de 1990 a 2011, enquanto na região nordeste, com irrigação e alta tecnologia aplicada, mostrou aumento de quase 100 % no mesmo período. Nesse caso particular, variedades melhoradas desempenharam papel muito importante, visto que, algumas recentemente lançadas, como a “Paluma”, foram usadas para estabelecer novos pomares. Sua produção, em 2011, atingiu cerca de 342.528 toneladas em uma área de 15.956 hectares (IBGE, 2012), sendo o Brasil, considerado um dos principais produtores mundiais de goiaba.

A espécie é cultivada comercialmente em todo o país, no entanto, o nordeste se destaca como maior produtor brasileiro, representando 44,3 % da produção nacional, advindo, principalmente, das áreas irrigadas do Vale do São Francisco, onde os cultivos vêm se expandido, compreendendo, atualmente, uma área de aproximadamente 4.000 ha. O sudeste fica em segundo lugar na produção de goiaba, representando 43,5 % do total produzido no Brasil, em 2011 (IBGE, 2012).

3.4 Irrigação da goiabeira

Alguns dos principais limitantes da produção agrícola na região Nordeste, especificamente no semiárido, são a escassez e a irregularidade pluviométrica. Assim, a utilização de práticas de irrigação é indispensável à sustentabilidade do setor primário, pois reduz os riscos do investimento agrícola, garantindo assim boas produtividades, sem que haja dependência das condições climáticas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Para Medina (1991), em relação à precipitação, a goiabeira mostra ser relativamente resistente às secas, mas cita exemplos de cultivos de sequeiro onde são obtidas uma ou duas safras anuais em decorrência da distribuição das chuvas. Nesse caso, as colheitas concentram-se nos períodos de maior disponibilidade hídrica. Grande parte da goiaba produzida para a indústria é proveniente de pomares sob condições de sequeiro, isso ocorre devido ao baixo custo de produção nessas condições. Em regiões onde a precipitação total anual varia entre 800 e 1.000 mm e as chuvas são bem distribuídas, não há necessidade de irrigações complementares para se obter safras compensadoras.

Para a produção de goiabas ao longo de todo o ano, a irrigação torna-se uma prática indispensável, mesmo em regiões onde a precipitação anual ultrapassa 1.000 mm. A falta de água disponível no solo, em época de elevada necessidade hídrica pela goiabeira, isto é, quando surgem novas brotações de ramos e folhas, durante o período de intenso florescimento, fixação e desenvolvimento dos frutos, pode resultar em frutos pequenos e em menor produção por planta (MANICA *et al.*, 2000). No período de frutificação da goiabeira, o fornecimento de água é um ponto crítico, pois, enquanto a falta pode provocar a redução na produção, o excesso diminui a qualidade dos frutos (BASSOI *et al.*, 2002).

Nesse caso, as plantas são podadas de tempos em tempos para forçar o surgimento de novas brotações que, dependendo do manejo da cultura, propiciam produções ao longo de todo o ano. Uma vez podada, a goiabeira necessita de um fornecimento adequado de água e nutrientes e condições satisfatórias de temperatura para obtenção de altas produtividades e frutas de qualidade. Além disso, um adequado controle fitossanitário e das ervas daninhas torna-se indispensável.

Com a utilização de podas e irrigação, além de apresentar níveis de produtividade elevados (40 a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹), produz durante todo o ano (LIMA; ASSIS; GONZAGA NETO, 2002). A colheita contínua de frutas contribui para a conquista de grandes mercados, tanto internamente quanto externamente, além de propiciar renda aos produtores durante todo o ano. Para a exportação, assim como para o mercado interno, que é cada vez mais exigente, demanda-se um padrão de qualidade do fruto muito superior ao padrão da fruta destinada ao mercado local e à indústria, só alcançado em cultivos tecnificados, e com a utilização de variedades ou cultivares selecionadas de acordo com as exigências do mercado que se deseja atingir (GONZAGA NETO; SOARES, 1994).

Rosane *et al.* (2009) e Gonzaga Neto *et al.* (1991) relatam que, no interior de Pernambuco, a goiabeira irrigada apresenta uma precocidade que permite o início de produção após um ano do plantio, possibilitando inclusive a obtenção de dois ciclos de produção ao ano. As plantas sob irrigação superam muito a produção das cultivadas sob sequeiro e apresentaram regularidade de produção. De acordo com Carvalho *et al.* (2006), essa cultura pode ser irrigada por sistemas de gotejamento, microaspersão, aspersão e por sulcos. Os sistemas de irrigação por gotejamento e por sulcos são indicados para solos argilo-arenosos e argilosos, enquanto os sistemas por aspersão e por microaspersão são mais adequados para solos arenosos e areno-argilosos.

Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002), em estudo sobre a caracterização de frutos de goiabeira e seleção de frutos na região do submédio São Francisco, observaram, dentre outras,

as seguintes características médias para a cultivar Paluma irrigada: massa de 104,8 g, diâmetro longitudinal de 6,29 cm, diâmetro transversal de 5,57 cm, sólidos solúveis totais de 10,4 °BRIX e 89,78 mg de ácido ascórbico (vitamina C) 100 ml⁻¹.

Lara Rodrigues e Borys (1983) relatam que, em algumas áreas de produção do México, a goiabeira é cultivada sob irrigação, e indicam um requerimento de água de 35, 50 e 75 L planta⁻¹ dia⁻¹ durante o primeiro, segundo e terceiro anos, respectivamente. Assinalam, também, que a água é um fator imprescindível em todas as etapas fenológicas do cultivo: floração, frutificação e desenvolvimento dos frutos, e sua ausência, em qualquer dessas fases, afeta notadamente a produção e qualidade dos frutos.

Patil et al (1993) conduziram experimento sobre o efeito de diferentes regimes de irrigação na produção de goiaba, em um pomar de 17 anos na Índia, envolvendo dois fatores: lâminas de irrigação (I1= 0,4; I2= 0,6; I3= 0,8 e I4= 1,0 da evaporação do tanque classe A e desvios da lâmina de irrigação (aumento ou diminuição) de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura (D0= sem desvio, D1= incremento de 0,2 durante o florescimento e desenvolvimento dos frutos, D2= decréscimo de 0,2 durante a maturação e D3= combinação de D1 e D2), e concluíram que as melhores produções foram obtidas com o manejo da irrigação com lâminas de I3= 0,8 até o desenvolvimento dos frutos e com I2= 0,6 na fase de maturação e colheita.

Gopal (1996) conduziu experimento de irrigação sobre o crescimento e produção da goiaba, na Rajasthan Agricultural University, Índia, com três níveis de dados acumulados do tanque classe A (I1= 40mm; I2= 60mm; I3= 80mm) e três lâminas de irrigação (C1= 25mm; C2= 50mm; C3= 75mm). A melhor performance foi obtida na combinação I2C3 e os parâmetros medidos foram: data do florescimento, maturação e tamanho (comprimento e diâmetro) dos frutos e produção. Comparando o tratamento I2C3 com a testemunha, verificou-se que houve uma redução de 15 dias no florescimento e 23 dias na maturação dos frutos. O comprimento e o diâmetro dos frutos tiveram um aumento de 2,94 cm e 2,84 cm, respectivamente, observando um incremento de 28,6% na produtividade.

Mandal *et al.* (2007) testaram o efeito da irrigação (inundação x gotejamento) e do espaçamento entre plantas de goiabeira (5,0 x 5,0 m e 6,0 x 6,0 m). Obtiveram resultados em que a irrigação por gotejamento foi superior a inundação, antecipando de 4 para 3 anos o início da produção. Além disso, as plantas irrigadas por gotejamento com espaçamento de 6,0 x 6,0 m produziram 15,0 t ha⁻¹, e 5,0 x 5,0 m produziram 21,6 t ha⁻¹, contra 8,31 t ha⁻¹ e 12,0 t ha⁻¹ nos espaçamentos 6,0 x 6,0 m e 5,0 x 5,0 m irrigadas por inundação, respectivamente.

Em um experimento com a cultura da goiabeira, em clima subúmido, Singh *et al.* (2007) determinaram que a demanda hídrica anual é de 206 mm, após subtrair a precipitação pluviométrica efetiva. Além disso, testaram o efeito de três tipos de irrigação (gotejamento, gotejamento com “mulch” e inundação) e obtiveram como resultados: a produtividade da goiabeira por gotejamento foi 164 % maior do que por inundação; o “mulch” plástico influenciou significativamente a produtividade da cultura; o tratamento irrigação por gotejamento com “mulch” apresentou produtividade de 47,2 t ha⁻¹, seguido pelo tratamento irrigação por gotejamento com 37,7 t ha⁻¹, e a menor produtividade foi obtida pelo tratamento irrigação por inundação, com 14,9 t ha⁻¹.

De acordo com Singh e Silva (2007), dentre os vários fatores que afetam a produção e a produtividade da goiabeira, nutrientes e água assumem maior importância. Esses mesmos autores comentam que, para a situação em estudo, clima subúmido, a irrigação por gotejamento vem a ser o melhor sistema de irrigação, não só por economizar água e nutrientes, mas também por obter a qualidade desejada de frutos.

Pesquisas e recomendações sobre a irrigação na cultura da goiabeira são escassas, porém, essas indicam aumentos de produtividade com o aumento da lâmina de irrigação aplicada (SOUSA, 1997; CHIRINOS-TORRES *et al.*, 2006).

3.5 Manejo de irrigação

Vários são os fatores que contribuem para produtividade não satisfatória nas culturas, no entanto, a carência de informações sobre o manejo da água é o fator mais limitante do desenvolvimento da agricultura irrigada. Assim, o manejo das irrigações deve atender às necessidades das culturas, de modo a permitir a manifestação de seu máximo potencial produtivo.

Na agricultura irrigada, a decisão sobre o momento apropriado e a quantidade adequada de água a ser aplicada são baseadas em conceitos práticos do agricultor, ou seja, é realizado de forma empírica, conduzindo à falta ou ao excesso de água para a cultura (FERNANDES; TURCO, 2003). A restrição hídrica, além de reduzir o crescimento da planta, favorece a produção de flores estéreis, reduzindo a produção de frutos. Por outro lado, o excesso de água diminui a aeração e afeta a absorção de nutrientes, possibilita o aparecimento de doenças, além de causar a perda de nutrientes por lixiviação (MARIN *et al.*, 1995).

Segundo Prueger (1997), técnicas que se utilizam de dados meteorológicos fornecem um meio de comparar valores de evapotranspiração entre diferentes sistemas de cultivo e podem ser facilmente utilizadas em múltiplas culturas. A evapotranspiração de referência (ET_o) é uma técnica indireta que pode ser utilizada e que conduz a estimativa das necessidades hídricas das plantas (FERNANDES; TURCO, 2003).

Vários são os métodos utilizados para determinação da ET_o. Bernardo, Soares e Mantovani (2006) relatam que a ET_o pode ser determinada por métodos diretos e indiretos. O método direto, através de lisímetros, apesar de apresentar ótimos resultados, utiliza equipamentos de custos muito elevados (R\$ 50.000,00), tornando-se inviável sua utilização no manejo da agricultura irrigada, no dia-a-dia. Em contraposição, os métodos indiretos oferecem a estimativa da ET_o, sendo o método Penman-Monteith/FAO o padrão. No encontro em 1990, realizado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), foi decidido que o método de Penman-Monteith deve ser utilizado como padrão de comparação com outros métodos, na ausência de lisímetros de precisão (SMITH, 1990).

Apesar do método Penman-Monteith/FAO ser o padrão para estimativa da ET_o, para seu cálculo, são necessários um elevado número de parâmetros, tornando sua aplicabilidade algumas vezes inviável para o produtor (NOBRE et al., 2005). No entanto, pode ser uma realidade quando as estações agrometeorológicas automáticas, equipamentos que possibilitam o cálculo da ET_o, apresentam custo menos elevado do que os lisímetros. Além do mais, apresenta-se como vantagem aos lisímetros, o ganho de informações climáticas em tempo real de temperatura, velocidade dos ventos, umidade relativa, etc., utilizados para diversas atividades no meio rural.

As estações agrometeorológicas automáticas possuem alto custo (R\$ 12.000,00 a R\$ 30.000,00), no entanto, uma única estação pode cobrir uma área dentro de um raio de até 40 km, utilizando assim, seus dados para manejo de pragas e de irrigação. O ideal seria que cada empresa/produtor tivesse sua própria estação, assim os dados seriam mais representativos para cada condição em particular (NOBRE, 2007). Em perímetros irrigados públicos, onde estão aglomerados vários produtores de diversas culturas, a utilização do manejo de irrigação através da ET_o calculada por estações automáticas é uma excelente alternativa, pois seu custo seria facilmente diluído.

A estimativa das necessidades hídricas das culturas através da ET_o é palco de vários estudos e pesquisas. Seu uso tem sido crescente, pois o mesmo pode ser obtido através de um único equipamento (estação agrometeorológica) e utilizado por vários usuários ao

mesmo tempo. De acordo com Moura e Soares (2004), o uso de estações agrometeorológicas para o cálculo da ETo já é uma realidade no Vale do Submédio São Francisco.

Em estudos realizados em Petrolina-PE, Moura (2001) e Teixeira *et al.* (2003) determinaram o consumo de água para a goiabeira cultivar Paluma e encontraram valores semelhantes de ETc, estimadas a partir da evapotranspiração de referência, utilizando estações agrometeorológicas automáticas. Esses valores variaram de 2,9 a 6,3 mm dia⁻¹ e 2,88 a 5,51 mm dia⁻¹ de acordo com o estágio de desenvolvimento, respectivamente.

Na região Meio Norte, em especial nos perímetros irrigados, a estimativa de ETo vem sendo determinada com a utilização de dados de estações agrometeorológicas convencionais e estações automatizadas, que estão sendo difundidas junto aos produtores. De acordo com Sentelhas *et al.* (1997), o tipo de estação meteorológica empregada para a medição de elementos climáticos deve ser considerado, pois, para um mesmo elemento, existem diferenças nos resultados obtidos por estações convencionais e automáticas, principalmente em escala diária.

4 MATERIAL E MÉTODOS

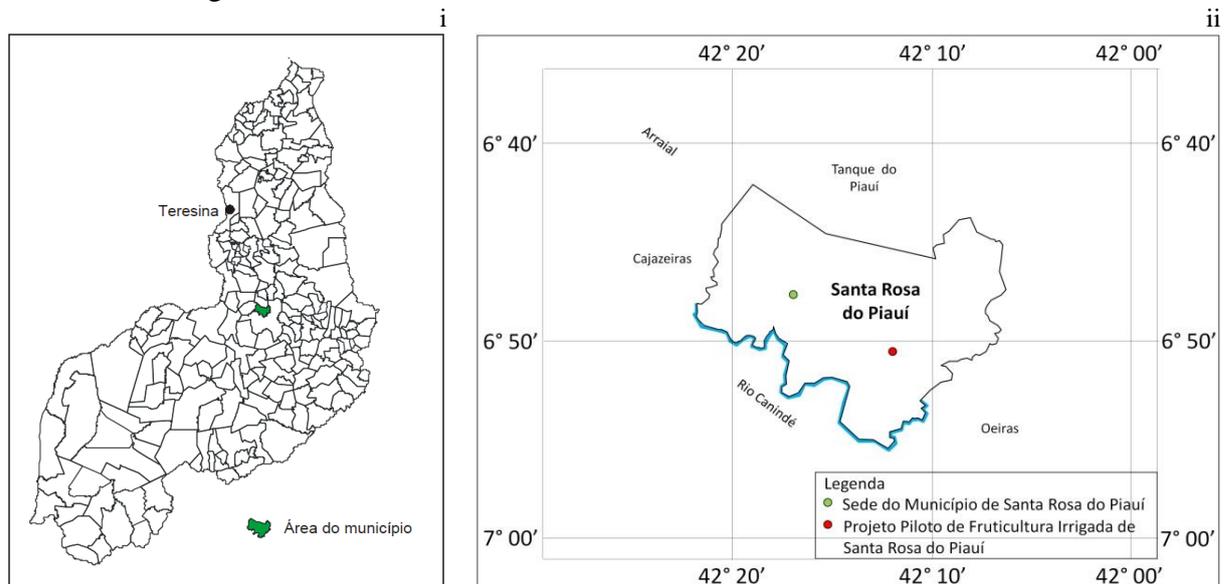
A pesquisa envolveu um sistema de produção de piscicultura e agricultura irrigada, em que os efluentes gerados pelo cultivo dos peixes foram utilizados para a irrigação. A espécie de peixe utilizada para cultivo foi a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), Linhagem Chitralada, e, a cultura vegetal, a goiabeira (*Psidium guajava* L.), Cultivar Paluma.

O experimento foi conduzido por dois anos, 2008 e 2009. Dessa forma, foi possível avaliar dois ciclos de crescimento e de produção da goiabeira, em função da aplicação de lâminas diferenciadas de irrigação com o efluente do cultivo de tilápia.

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí, gerido pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba - Codevasf, localizado no município de Santa Rosa do Piauí-PI (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Santa Rosa do Piauí-PI e do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



onde: i – Localização do município de Santa Rosa do Piauí no Estado do Piauí; e, ii – Localização do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí.

O município está localizado na microrregião de Picos, compreendendo uma área irregular de 351 km², tendo limites com os municípios de Arraial e Tanque do Piauí ao norte, ao sul com Oeiras e Cajazeiras do Piauí, ao oeste com Arraial e Cajazeiras do Piauí, e, ao leste

com Oeiras (Figura 1). Tem como coordenadas geográficas: 06°47'57" S, 42°17'17" W e 150,00 m, de latitude, longitude e altitude, respectivamente.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é tropical semiárido, quente e seco, apresentando temperatura média de 29°C, umidade relativa média do ar de 67 % e precipitação pluviométrica média de 812 mm, com período chuvoso de novembro a abril.

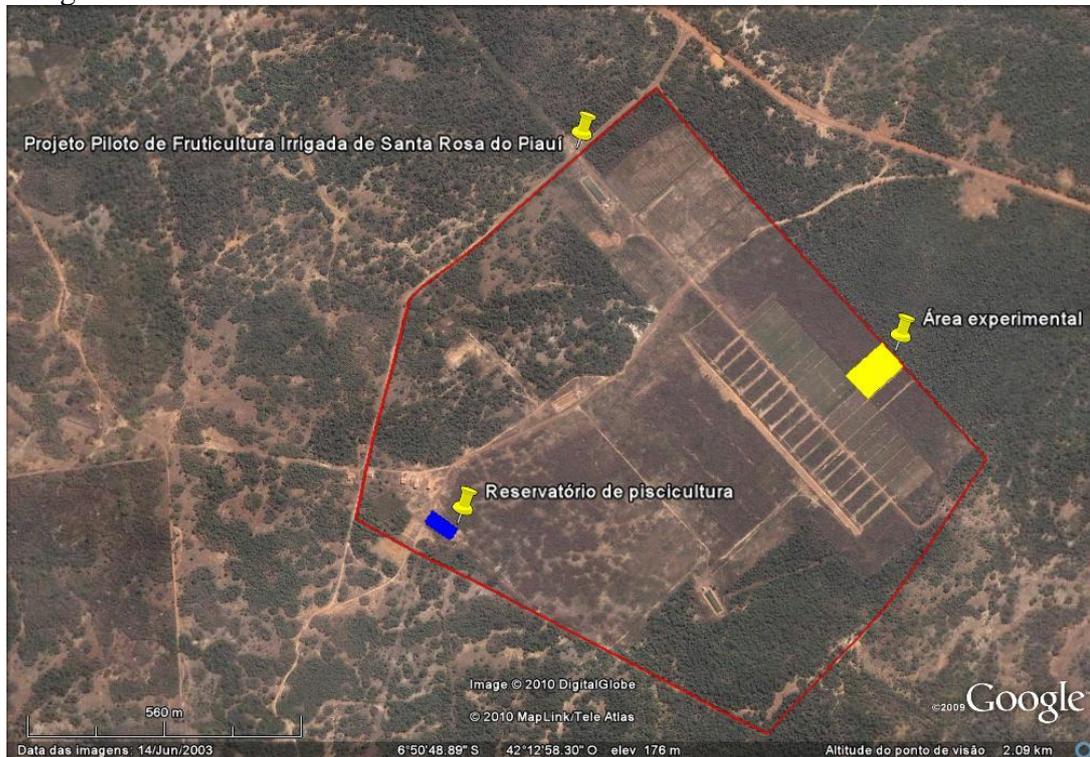
O solo da área experimental é classificado como Neossolo Litólico Distrófico de textura areia franca.

4.2 Cultivo da goiabeira

4.2.1 Área experimental

O experimento foi realizado em uma das áreas do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí (Figura 2).

Figura 2 – Localização da área experimental no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



Fonte: Google, 2012.

A área experimental apresentou as seguintes dimensões: 112,00 m x 70,00 m. Anteriormente à implantação do pomar de goiabeira, a área estava

ocupada por vegetação nativa. Noventa dias antes do plantio das mudas, foram coletadas, nas profundidades de 0,00 m - 0,20 m, 0,20 m - 0,40 m e 0,40 m - 0,60 m, amostras compostas de solo em 20 diferentes pontos do terreno, para realizar análises físico-químicas do solo. O preparo do solo constou de operações de aração e gradagem, além da correção da acidez do solo com calagem. Na calagem, foram aplicadas 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, realizada de acordo com a análise de solos, e, 60 dias antes do plantio das mudas. As análises químicas do solo, realizadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba, deram-se de acordo com metodologias descritas por Silva (1999), e estão apresentados na Tabela 1. O solo pode ser classificado como de baixa a mediana fertilidade para a cultura da goiabeira segundo ITAL (1991).

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo da área experimental

Característica	Unidade	Profundidade (m)		
		0,00 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60
Matéria Orgânica	g kg ⁻¹	4,18	3,93	3,74
pH	-	5,59	6,20	5,24
Fósforo	mg dm ⁻³	7,70	41,2	1,10
Potássio	cmol _c dm ⁻³	0,29	0,30	0,24
Cálcio	cmol _c dm ⁻³	0,92	1,10	0,37
Magnésio	cmol _c dm ⁻³	0,56	0,93	0,76
Alumínio	cmol _c dm ⁻³	0,13	0,02	0,95
Hidrogênio + alumínio	cmol _c dm ⁻³	1,67	1,09	2,74
Soma das bases	cmol _c dm ⁻³	1,85	2,46	1,48
CTC	cmol _c dm ⁻³	3,52	3,55	4,22
V	%	52,61	69,32	35,08
M	%	6,57	0,81	39,09
ρ _s	kg dm ⁻³	1,57	1,53	1,53
PST	%	0,45	0,40	0,39
Argila	%	9,6	10,6	11,1
Silte	%	10	11,7	11,7
Areia	%	80,4	77,7	77,2

em que: CTC é a capacidade de troca de cátions; V é a saturação por bases; M é a saturação por ácidos; ρ_s é a densidade do solo; e, PST é a percentagem de sódio trocável.

4.2.2 Características da goiabeira cultivar Paluma

A cultivar de goiabeira (*Psidium guajava* L.) utilizada no experimento foi a “Paluma”, derivada do cruzamento das variedades Rubi e Supreme, a partir de sementes de

polinização aberta, originada do Programa de Melhoramento Genético na UNESP/Jaboticabal-SP (Figura 03). Seu fruto possui uma variação de peso entre 140 e 250 g, diâmetro longitudinal de 8,0 a 10,0 cm e transversal de 7,0 a 9,0 cm, de forma ovóide com pescoço curto, polpa de casca com peso médio de 140 g, coloração vermelho-intenso, 1,3 a 2,0 cm de espessura, pequena porcentagem de sementes (5 %) e bom rendimento de polpa (94 %). Apresenta fruto de consistência firme, muito bom sabor e boa capacidade de conservação pós-colheita. São frutos adequados tanto para a produção de massa, isto é, para processamento industrial, como para o consumo *in natura*.

Essa cultivar é, hoje, a principal cultivada em áreas irrigadas do nordeste brasileiro. Estima-se que ocupa de 80 a 90 % da área plantada, existindo poucos estudos, de âmbito regional, que procure oferecer outras variedades como opção à Paluma.

Figura 3 – Planta de goiabeira “cultivar Paluma”



4.2.3 Instalação e condução da cultura no campo

4.2.3.1 Plantio

O plantio da mudas ocorreu em abril de 2007, com 100 % de pegamento. O espaçamento utilizado foi 7,00 m x 5,00 m, resultando em um total de 224 plantas na área experimental. As covas apresentaram dimensões de 0,60 m x 0,60 m x 0,60 m.

4.2.3.2 Adubação

Realizou-se adubação de fundação com 20 L de esterco curtido cova⁻¹, 20 g de FTE BR-12 cova⁻¹ e 180 g de P₂O₅ cova⁻¹, 30 dias antes do plantio das mudas. No primeiro ano, fez-se a adubação de formação com 100 g de N planta⁻¹ e 100 g de K₂O planta⁻¹. Para a adubação de produção, isto é, a partir do segundo ano, utilizou-se 200 g de N planta⁻¹, 100 g de P₂O₅ planta⁻¹ e 200 g de K₂O planta⁻¹, no segundo ano e 400 g de N planta⁻¹, 200 g de P₂O₅ planta⁻¹ e 400 g de K₂O planta⁻¹, no terceiro. Os adubos comerciais empregados foram: ureia, sulfato de potássio e superfosfato simples.

O adubo fosfatado foi aplicado, em sua totalidade, no mês de agosto de 2008, ao redor da coroa da copa, em um raio de 0,60 m. Os adubos nitrogenados e potássicos foram aplicados via fertirrigação (Figura 4), conforme a metodologia descrita por Natale e Prado (2006). As fertirrigações foram realizadas numa frequência semanal, e o tempo utilizado nessa operação era debitado do tempo de irrigação, de acordo com cada tratamento.

Considerando a hipótese de o efluente da piscicultura, via irrigação, aportar nutrientes ao solo, conseqüentemente às plantas de goiabeira, ao final do experimento, contabilizou-se esse aporte, especificamente de nitrogênio e fósforo, por tratamento (lâmina de irrigação). Com isso, foi possível estimar a quantidade de adubo comercial que pode ser economizado com a utilização do efluente da piscicultura na irrigação.

Figura 4 – Cabeçal de controle utilizado para a fertirrigação do experimento



4.2.3.3 Sistema de irrigação

A água do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada provinha de um poço tubular de 200 metros de profundidade e vazão de $42 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A água, ao ser captada por uma eletrobomba de 50 c.v., foi armazenada em um reservatório (reservatório pulmão) para posterior irrigação da goiabeira. O poço estava localizado a 80 m do reservatório, e este foi o mesmo utilizado na piscicultura, com o cultivo da tilápia.

O reservatório possui dimensões de 54 m de comprimento, 17 m de largura e 2,0 m de profundidade (Figura 5). Durante todo o experimento, foi mantida uma lâmina média de 1,8 m no reservatório, resultando em uma capacidade média de armazenamento de 1.497 m^3 de água.

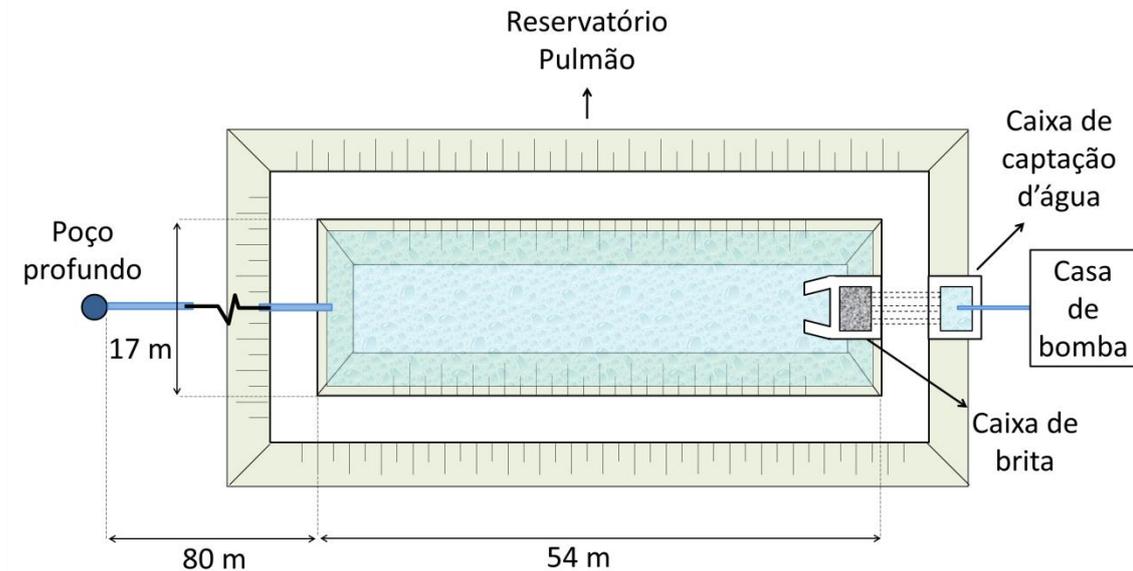
O reservatório foi abastecido por sua parte superior, favorecendo a aeração da água para os peixes, que é fundamental para sua sobrevivência. A renovação de parte da água do reservatório, de 30 % a 40 % do volume total, foi mantida de forma contínua durante todo o experimento, com uma taxa de renovação diária, isso, pelo fato de as irrigações serem diárias. Vale ressaltar que esse volume de renovação não era utilizado apenas para o experimento em questão, pois haviam implantados no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada cerca de 20 hectares de fruticultura diversificada.

A irrigação da goiabeira foi realizada por meio de um conjunto motobomba, sendo o motor de 25 c.v. de potência e a bomba centrífuga. A água do reservatório pulmão se comunicava com o sistema de captação por meio de um sistema de escoamento. Este foi constituído de duas estruturas de alvenaria interligadas. A primeira, a que ficava a montante, era um filtro composto por uma estrutura de alvenaria em formato de caixa, com seu volume preenchido de brita, com função filtrante, evitando assim, que o excesso de matéria orgânica, partículas sólidas e alevinos, fossem captados pelo sistema de bombeamento. Esse filtro, por sua vez, conectava-se a uma nova estrutura de alvenaria, também em formato de caixa, entretanto com seu interior vazio. Tinha como função armazenar água, com uma primeira filtragem, para ser captada pelo sistema de bombeamento do sistema de irrigação. A comunicação entre estas duas estruturas foi feita por meio de tubos de 400 mm de diâmetro.

A jusante do reservatório havia a casa de bombas, onde estava instalado o sistema de bombeamento, e, na sequência, três filtros de disco com capacidade de $15,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (120 mesh).

Visualiza-se, detalhadamente, o desenho esquemático de todo o sistema interligado supracitado, na Figura 5.

Figura 5 – Reservatório Pulmão do Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí, utilizado para a irrigação da goiabeira e para o cultivo da tilápia



A adutora (linha principal) foi composta de tubulações de diferentes diâmetros. Apresentava um comprimento de 1.232 m do ponto de bombeamento até o ponto de derivação, sendo 240 m de DN 100 mm e 992 m de DN 75 mm. A linha de derivação, com diâmetro de 50 mm, possuía um comprimento de 70 m, e nessa, estavam conectadas as linhas laterais de tubo de polietileno DN 20 mm. As linhas laterais contavam 65 m de comprimento, propiciando, assim, pequena perda de carga e baixa variação na vazão dos microaspersores ao longo da mesma.

O cabeçal de controle da unidade experimental, chamado de cabeçal de controle parcelar no projeto, foi constituído de: um registro de esfera para regulação da vazão e pressão no sistema de irrigação; ponto de injeção de fertilizantes para acoplamento de bomba injetora de acionamento hidráulico; manômetro; e, dois registros para o controle da aplicação de fertilizantes (Figura 4).

A cultura da goiabeira foi irrigada por meio de um sistema de irrigação localizado, do tipo microaspersão, com uma linha lateral por fileiras de plantas. Assim, o sistema de irrigação foi composto por 16 linhas laterais de 65 m de comprimento e diâmetro nominal de 20 mm, tendo, no início da linha lateral, um registro para o controle das lâminas de irrigação.

O sistema de irrigação possuía as seguintes características hidráulicas: microaspersor de asa giratória; sendo um emissor por planta, espaçados entre si em 5,0 m; vazão de 43 L h⁻¹; 20 mm de diâmetro; e, pressão de serviço de 150 kPa.

Para a irrigação, manteve-se uma pressão de serviço de 240 kPa, e para fertirrigação, de 260 kPa.

A irrigação foi realizada diariamente, imediatamente após a coleta de dados, na estação agrometeorológica instalada no projeto.

Uma semana após a instalação, o sistema foi avaliado conforme metodologia de Merriam & Keller (1978), com modificação proposta por Deniculli *et al.* (1980). O sistema apresentou vazão média dos microaspersores de 44,2 L h⁻¹ e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) igual a 92,10 %.

4.2.3.4 Podas

No conjunto de tratamentos culturais, as podas ocupam lugar de elevada importância no cultivo da goiabeira. Assim, no primeiro ano, fez-se a poda de formação, onde a planta foi conduzida em haste única até 50 cm de altura, eliminando a gema terminal. Posteriormente, deixou-se desenvolver três ou quatro ramos laterais, dando origem aos ramos primários. Estes, quando maduros e com comprimento de 40 a 50 cm, foram podados, com a eliminação das gemas terminais, dando origem aos ramos secundários.

Fez-se, também, podas periódicas de limpeza, eliminando-se galhos secos, mal localizados, raquíticos, rasteiros, atacados por pragas e que comprometiam a boa arquitetura da planta. Esse tipo de poda tinha como finalidade deixar a copa mais aberta e aerada.

As podas de frutificação ocorreram no mês de junho de 2008 e de 2009, isto é, no início da avaliação do 1º e 2º ciclo de cultivo da goiabeira. Considerando que as mudas foram plantadas em abril de 2007, estes ciclos correspondem ao segundo e terceiro ano de idade das plantas, logo, plantas jovens sem produção estabilizada. A finalidade das podas foi induzir novas brotações, e, conseqüentemente, alcançar a frutificação (Figura 6), visto que as inflorescências da goiabeira só ocorrem em ramos novos (ramos do ano), conhecidos como ramos terciários.

Excepcionalmente, no mês de dezembro de 2008 (dia 22/12/2008), início do período chuvoso, realizou-se uma poda drástica, objetivando melhorar a arquitetura das plantas e favorecer o desenvolvimento de um maior número de ramos terciários (ramos produtivos).

Figura 6 – Poda de frutificação realizada no segundo ciclo da cultura, em junho de 2009



4.2.3.5 Colheita

A colheita foi realizada manualmente e três vezes por semana, sempre no estágio de maturação “de vez”, definido a partir da coloração da casca (cor verde com a base ligeiramente amarelada), conforme padronização estabelecida para comercialização no mercado interno (ITAL, 1991). A colheita ocorreu sempre no início de novembro, estendendo-se até meados de dezembro, dos anos de 2008 e 2009.

4.2.3.6 Tratos fitossanitários

As plantas receberam tratamentos fitossanitários de acordo com a necessidade de controle de: ervas daninhas e pragas. Para o controle de ervas daninhas, utilizou-se roçadeira mecanizada acoplada a um trator, enquanto que o coroamento foi realizado manualmente por meio de enxada.

Quanto à ocorrência de pragas, apenas uma foi considerada danosa ao cultivo. Em meados do mês de julho de 2009, uma praga de gafanhotos infestou a região do município de Santa Rosa do Piauí, atacando o experimento. Alguns inseticidas utilizados ainda no mês de julho não se mostraram eficazes. Dessa forma, o único controle efetivo da praga se deu por meio de coleta manual dos gafanhotos (Figura 7), no início do mês de agosto de 2009. É importante salientar que as plantas foram bastante afetadas pela praga.

Figura 7 – Gafanhotos coletados manualmente em agosto de 2009



4.2.4 Delineamento experimental

4.2.4.1 Características morfológicas de crescimento e de produção da goiabeira

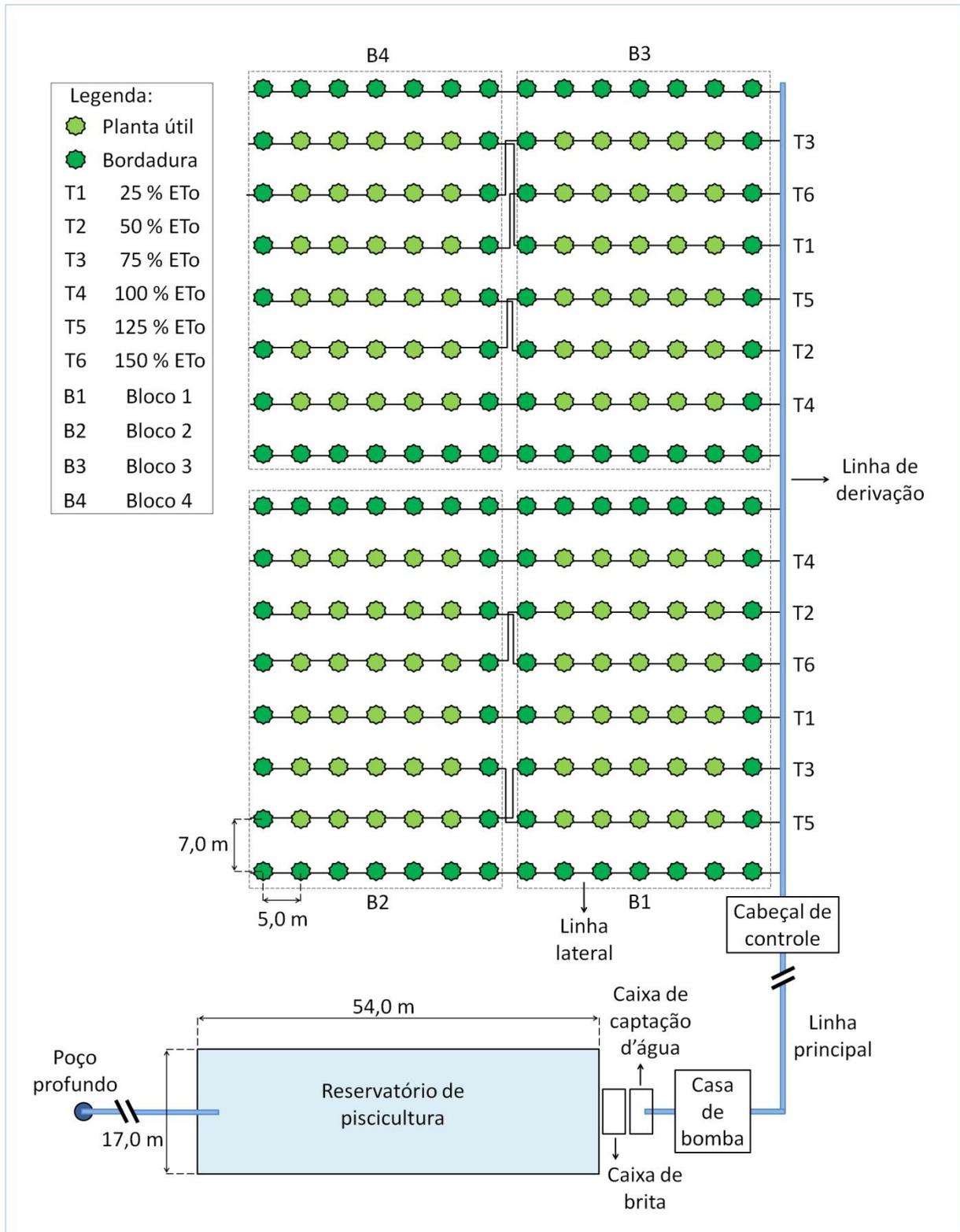
O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro blocos, totalizando 24 unidades experimentais. A área total do experimento foi de 7.840 m² ou 0,8 ha e de área útil, 4.200 m² ou 0,4 ha. Cada parcela foi constituída por uma linha de plantas de 35 m (sete plantas), sendo considerada bordadura a primeira planta do início e a última planta do final de cada linha, totalizando cinco plantas úteis. A separação entre os blocos foi feita por duas linhas de bordadura, e, a separação à área externa por uma linha de bordadura.

Na Figura 8, podemos visualizar o detalhamento da área experimental, com a disposição dos blocos e tratamentos (lâminas de irrigação) casualizados.

No experimento, estudaram-se seis tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5 e T6), isto é, seis lâminas de irrigação, aplicadas em função de diferentes níveis da evapotranspiração de referência (25 % da ETo, 50 % da ETo, 75 % da ETo, 100 % da ETo, 125 % da ETo e 150 % da ETo), respectivamente.

O início da aplicação dos tratamentos se deu posteriormente ao período chuvoso, em meados do mês de maio de 2008, sendo interrompidos ainda nesse ano, pelo início de um novo período chuvoso, que ocorreu na segunda quinzena de dezembro de 2008. O retorno da aplicação dos tratamentos se deu com o final do período chuvoso, em maio de 2009, sendo aplicados até o final do experimento, em dezembro desse mesmo ano. Dessa forma, a aplicação dos tratamentos no experimento foi marcado pelo início e final do período chuvoso.

Figura 8 – Croqui da área experimental, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



4.2.4.2 Perfil do estado da água no solo

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, sendo seis lâminas de irrigação na parcela, como descrito, versus três profundidades de instalação dos tensiômetros na subparcela, a 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m de profundidade, com cinco repetições para o ano de 2008 e dez para o ano de 2009, totalizando 90 e 180 unidades experimentais, respectivamente para os anos avaliados.

4.2.4.3 Distribuição do sistema radicular da goiabeira

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subsubdivididas, sendo seis lâminas de irrigação na parcela, como descrito, versus cinco distâncias ao colo da planta na subparcela, consideradas as distâncias de 0,00 m - 0,20 m, 0,20 m - 0,40 m, 0,40 m - 0,60 m, 0,60 m - 0,80 m e 0,80 m - 1,00 m, versus cinco profundidades na subsubparcela, sendo consideradas as profundidades de 0,00 m - 0,20 m, 0,20 m - 0,40 m, 0,40 m - 0,60 m, 0,60 m - 0,80 m e 0,80 m - 1,00 m, com quatro blocos, totalizando 300 unidades experimentais.

4.2.4.4 Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, sendo seis lâminas de irrigação na parcela, como descrito, versus cinco períodos, estabelecidos de acordo com os dias após a poda de frutificação, na subparcela, sendo os períodos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a poda de frutificação, com quatro repetições, totalizando 120 unidades experimentais.

4.2.4.5 Características de crescimento dos peixes

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, sendo cinco períodos, estabelecidos de acordo com os dias após o povoamento dos peixes no reservatório, na parcela, com cinco repetições, totalizando 25 unidades experimentais.

4.2.5 Características avaliadas

4.2.5.1 Características morfológicas de crescimento de plantas da goiabeira

Foram realizadas duas mensurações (biometrias) das características morfológicas de crescimento da goiabeira por ciclo, sendo o 1º Ciclo no ano de 2008 e o 2º Ciclo em 2009, nas cinco plantas da parcela útil de cada bloco.

As primeiras biometrias de cada ciclo ocorreram após o período chuvoso, e, anterior a poda de frutificação. Logo, foram realizadas no mês de junho de cada ano. Já as segundas biometrias de cada ciclo, ocorreram sempre ao final de suas colheitas, em meados de dezembro, quando os tratamentos eram interrompidos e iniciava o período chuvoso.

Para determinar os efeitos dos tratamentos lâminas de irrigação de efluente da piscicultura sobre o desenvolvimento da cultura, foram analisadas as seguintes características: diâmetro do caule (DC), medido a 10 cm acima da superfície do solo, por meio de um paquímetro digital; altura da planta (AP), medido desde o colo da planta até a folha mais alta, com uma trena; diâmetro da copa na direção norte (DCN), diâmetro da copa na direção leste (DCS), medidos na direção da linha de plantio e perpendicularmente, respectivamente, além do diâmetro da copa médio calculado pelas medidas das duas direções, utilizando-se uma trena para a mensuração; número de ramos terciários (NRT), em que se contabilizava o número de ramos terciários; presença de inflorescências (I), dado qualitativo, no qual se indicava a presença ou ausência de inflorescências na planta; número de inflorescências (NI), onde se contabilizava o número de inflorescências na planta; presença de frutificação (F), dado qualitativo, onde se indicava a presença ou ausência de frutificação na planta; e, por fim, número de frutos (NF), contabilizava-se o número de frutos na planta.

4.2.5.2 Características de produção da goiabeira

As mensurações das características de produção por ciclo da goiabeira ocorreram à medida em que se realizavam as colheitas, geralmente em meados de novembro, com pico no início de dezembro. Realizaram-se as mensurações para as cinco plantas da parcela útil de cada bloco.

Para a avaliação do desempenho produtivo da cultura da goiabeira, foram avaliadas as seguintes características: número de frutos por planta (NFP), por meio de contagem dos frutos; produtividade por planta (PPP), utilizando-se balança; comprimento do fruto (CF), eixo paralelo ao pedúnculo; diâmetro do fruto (DF), eixo perpendicular ao pedúnculo; espessura de casca (EC), sendo que para estas três últimas características, utilizava-se um paquímetro digital para a mensuração; diâmetro de polpa (DP), calculada pela seguinte equação $DP = DF - 2 * EC$; peso médio dos frutos por planta (PMF), calculada a partir da equação $PMF = PPP/NFP$; produtividade (P), calculada a partir da equação $P = PPP * 286$ (número total de plantas por hectare); e, Eficiência de Uso da Água (EUA), calculado pela equação $EUA = P / \text{lâmina aplicada}$.

4.2.5.3 Distribuição do sistema radicular da goiabeira

Posterior ao 1º Ciclo de aplicação dos tratamentos de lâminas de irrigação com efluente da piscicultura na goiabeira, avaliou-se a distribuição do sistema radicular nas camadas do solo. Para isso, foram abertas trincheiras de 2,00 m x 1,00 m x 1,00 m no sentido longitudinal às linhas de plantas, afastadas, aproximadamente, cinco centímetros do tronco das goiabeiras na direção das entrelinhas (Figura 9), segundo recomendado por Fracaro e Pereira (2004) e Ferreira (2004). Realizou-se a abertura de trincheiras para todos os tratamentos de lâminas de irrigação no dia 18/12/2009.

Após a abertura das trincheiras, a parede onde se encontravam as raízes foi aplainada e escarificada com um garfo, até que fosse possível a visualização das pontas das raízes. Para que houvesse melhor contraste entre as raízes e o solo, elas foram pintadas uma a uma com esmalte sintético branco de alto brilho, por meio de spray (Figura 9). Fez-se uso de um quadro de madeira de dimensões 1,00 m de largura x 1,00 m de comprimento, e esse foi subdividido em quadrículas de 0,20 m x 0,20 m, através de barbantes entrelaçados, isso para delimitar a área a ser fotografada. As fotografias foram tomadas a uma distância de 0,25 m em relação à parede da trincheira, gerando um total de 600 imagens, resultado dos 6 tratamentos de lâmina de irrigação x 5 tratamentos de distância do colo da planta x 5 tratamentos de profundidade x 4 blocos.

Figura 9 – Preparo das plantas para a obtenção de imagens das raízes no perfil do solo



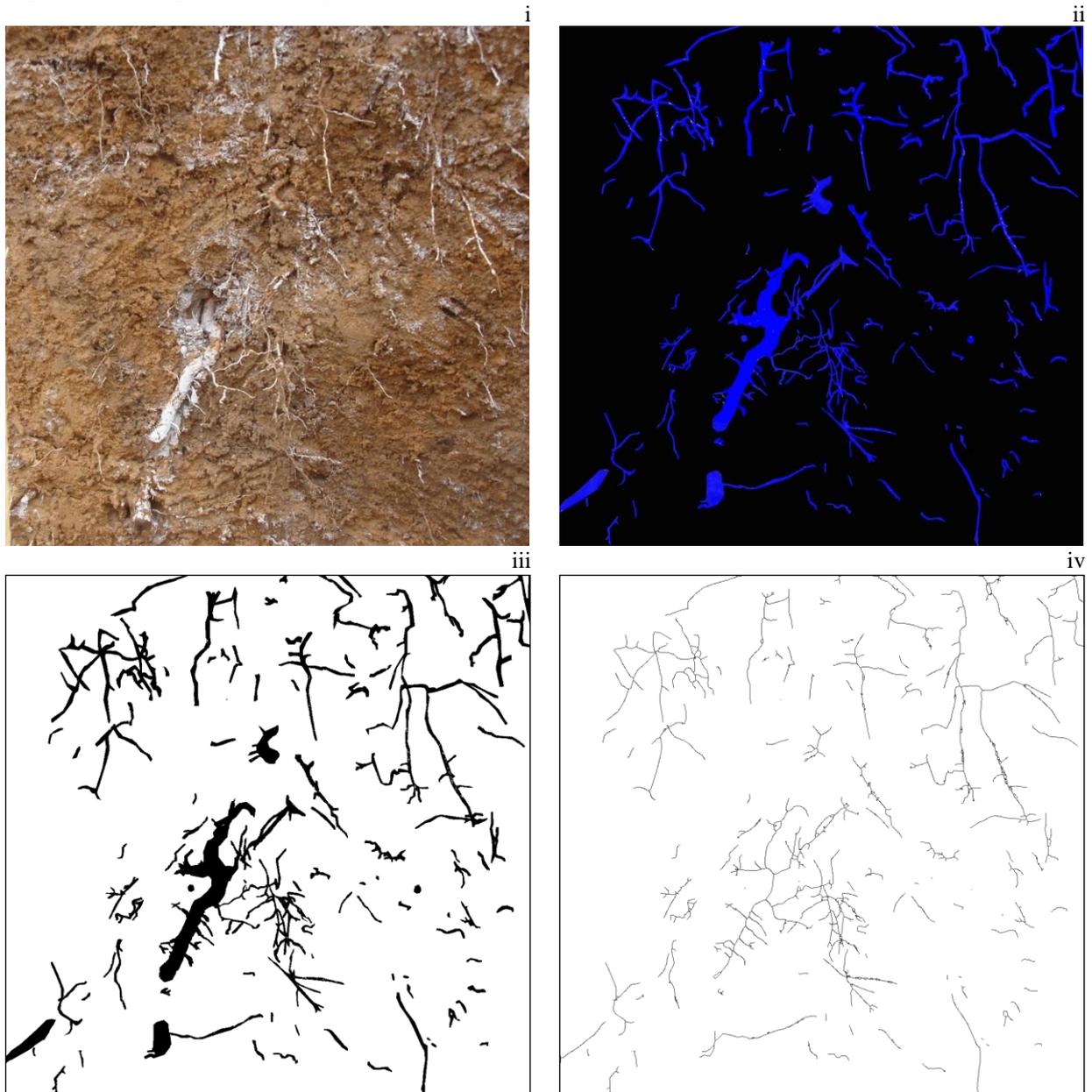
onde: i – marcação das trincheiras; ii – abertura das trincheiras; iii – limpeza e pintura das raízes; e, iv – obtenção das imagens.

Neste experimento, foram considerados além dos tratamentos principais de lâminas de irrigação, os tratamentos de distância do colo da planta, com cinco tratamentos, a 0,10 m, 0,20 m, 0,30 m, 0,40 m, e, 0,50 m de distância, e, os tratamentos de profundidade, que também foram cinco, utilizando as mesmas medidas anteriores, entretanto tendo como referencial a superfície do solo.

Por meio de um editor de imagens, realizou-se o corte das imagens, deixando somente a área representativa de 400 cm². A análise de cada imagem das diferentes camadas de solo ocupadas pelas raízes da cultura da goiabeira foi realizada por meio do processamento das imagens, regularmente registradas no programa de tratamento de imagens *Photoshop Adobe* versão 6.0, a fim de proporcionar, na área da imagem, um maior contraste entre as raízes e área desnuda do solo.

Posteriormente, com o auxílio do programa Siarcs – Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo, versão 3.0, da Embrapa, quantificou-se, por meio de escala definida e seleção de *pixels*, a área e o comprimento das raízes, assim como seus percentuais relacionados aos totais (Figura 10).

Figura 10 – Preparo das imagens de raízes e seu processamento no Siarcs 3.0



onde: i – imagem cortada representativa de 400 cm²; ii – imagem trabalhada no Photoshop 6.0; iii – imagem binarizada no Siarcs 3.0; e, iv – imagens com raízes afinadas.

O processo de quantificação iniciou-se com um processamento prévio da imagem, definindo o que é e o que não é raiz, com o uso da ferramenta *Threshold*, que seleciona *pixels* de matizes diferentes. Em seguida, realizou-se a Binarização, onde o que é raiz recebe o

número um (cor preta), e, o que não é raiz, logo é solo, recebe o número zero (cor branca). Para a característica área de raiz, o último passo foi a contagem automática realizada pelo programa do número de *pixels* de número um, transformando em área em cm^2 . Para a característica comprimento de raiz, as imagens foram novamente processadas, utilizando-se da ferramenta Afinamento. Essa ferramenta fez com que as raízes binárias resultantes da operação de binarização fossem percorridas iterativamente, retirando-se os *pixels* de borda, até que as mesmas tivessem apenas a representação de seu “esqueleto”, ou eixo principal. Como resultado, cada raiz afinada terá apenas um *pixel* de espessura. Assim, foi possível quantificar o comprimento linear de raízes em centímetros.

4.2.5.4 Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira

Após a colheita do 1º Ciclo, em dezembro de 2008, realizou-se um experimento a parte, avaliando o desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira, pois as plantas receberam aplicações de lâminas diferenciadas de irrigação, por aproximadamente seis meses e meio, e, com o início do período chuvoso, as plantas receberiam a mesma lâmina de água, por meio da precipitação.

Para a quantificação e monitoramento do desenvolvimento da cobertura vegetal, foram utilizadas fotografias digitais aéreas obtidas a cada 30 dias após a poda de frutificação (DAP), ocorrida no dia 22/12/2008, até o 150º DAP, totalizando um espaço temporal de cinco meses (momento em que sombreou mais de 90 % do solo). Todos os tratamentos foram avaliados, gerando um total de 120 imagens (6 tratamentos de lâmina x 5 tratamentos de dias após a poda de frutificação x 4 blocos).

As imagens aéreas digitais foram obtidas por meio de uma câmera digital de 10.1 *megapixels*. A avaliação do desenvolvimento da cobertura vegetal contou da análise da área da cobertura vegetal (m^2) e índice de cobertura vegetal (%).

Fez-se uso de um quadro de madeira de 3,00 m x 3,00 m, de acordo com o diâmetro da copa, quando em pleno desenvolvimento, para delimitar a área a ser fotografada. As fotografias foram obtidas com a câmara fotográfica nivelada de forma perpendicular à copa da planta, a uma altura aproximada de 4,0 m em relação à superfície do solo, com auxílio de uma estrutura de madeira (Figura 11). Com um editor de imagens, realizou-se o corte das imagens, deixando somente a área representativa de $9,0 \text{ m}^2$.

Figura 11 – Estrutura de madeira utilizada para a obtenção das imagens aéreas da cobertura vegetal da goiabeira



onde: i – estrutura de madeira; e, ii – imagem aérea obtida com a utilização da estrutura de madeira.

O acompanhamento da evolução da cobertura vegetal da goiabeira se deu com o processamento de imagens, regularmente registradas, no programa de tratamento *Photoshop Adobe* versão 6.0, a fim de proporcionar, na área do canteiro estudado, contraste entre as áreas cobertas por folhas e a área desnuda do solo.

Posteriormente, utilizando o programa Siarcs – Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo, versão 3.0, da Embrapa, quantificou-se, através de escala definida e seleção de *pixels*, a área foliar e a percentagem de área sombreada da cultura da goiabeira.

O processo de quantificação de área foliar no Siarcs foi o mesmo descrito no Item 4.2.5.3, para área de raiz (Figura 12).

4.3 Análise química do solo no final do experimento

Após a colheita final da cultura, foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0,00 m – 0,20 m, 0,20 m – 0,40 m e 0,40 m – 0,60 m, em cinco pontos na linha lateral de todas as unidades experimentais do tratamento T4. A metodologia de análise seguiu as recomendações propostas por Silva (1999). Os resultados das análises serão base para avaliar as características químicas do solo, antes e após a aplicação dos tratamentos, isto é, com a irrigação com o efluente da piscicultura no cultivo da goiabeira.

Figura 12 – Preparo das imagens de cobertura vegetal e seu processamento no Siarcs 3.0



onde: i – imagem cortada representativa de 9 m²; ii – imagem trabalhada no Photoshop 6.0; e, iii – imagem binarizada no Siarcs 3.0.

4.4 Manejo de irrigação

4.4.1 Cálculo das lâminas de irrigação

O manejo da irrigação foi realizado diariamente a partir de dados coletados em uma estação agrometeorológica (Figura 13), baseado na evapotranspiração de referência (ET₀). A estimativa da ET₀ se deu por meio da equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN, 1998), descrita da seguinte maneira:

$$ET_o = \frac{[0,408 \cdot s \cdot (Rn - G)] + \left[\gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a) \right]}{s + \{ \gamma \cdot [1 + (0,34 \cdot U_2)] \}} \quad (01)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

Rn é o saldo de radiação na superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

G é a densidade de fluxo do calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

900 é o fator de correção para 24 horas;

T é a temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);

U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1});

e_s é a pressão do vapor saturado (kPa);

e_a é a pressão do vapor real atual (kPa);

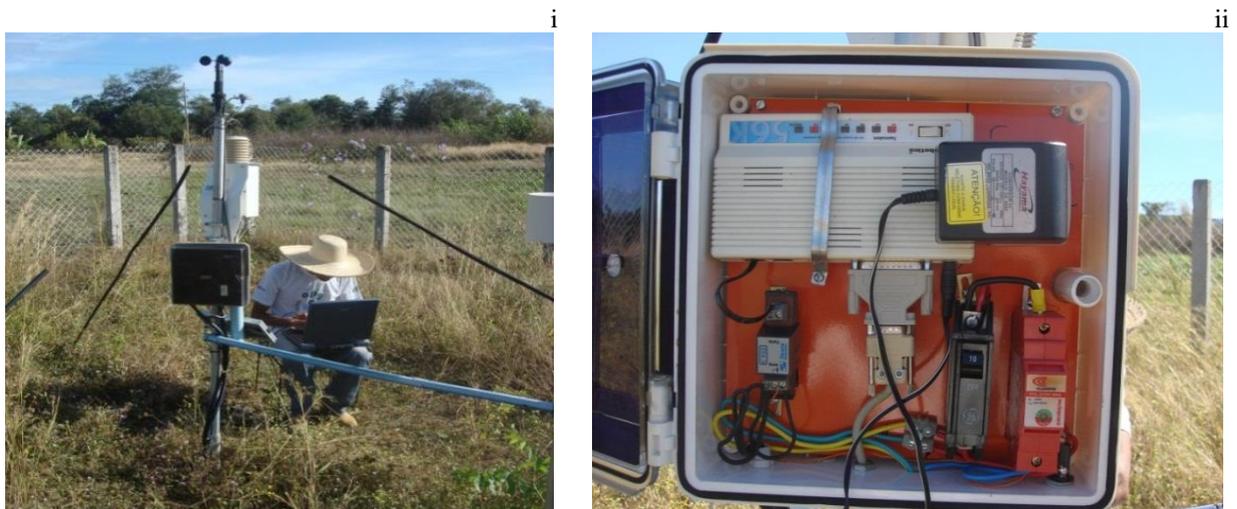
$(e_s - e_a)$ é o déficit de pressão do vapor saturado (kPa);

s é a declividade da curva de pressão do vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$);

γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); e,

T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Figura 13 – Estação agrometeorológica automática, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



onde: i – coleta de dados; e, ii – *data-logger* e porta de comunicação para transmitir os dados.

Após o cálculo da evapotranspiração de referência, as lâminas de irrigação foram determinadas em função dos níveis de ET_o de cada tratamento (25 % da ET_o , 50 % da ET_o , 75 % da ET_o , 100 % da ET_o , 125 % da ET_o e 150 % da ET_o).

4.4.2 Cálculo do volume aplicado

O volume de água aplicado por tratamento se diferenciou de acordo com o nível de evapotranspiração de referência, sendo calculado pela Equação 2.

$$V = \frac{f \times ETo \times Kr \times A}{Ef} \quad (2)$$

Em que: V é o volume de água aplicado (L);

f é o nível de ETo correspondente aos tratamentos (%);

ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Kr é o coeficiente de redução (adimensional);

A é a área ocupada pela planta (m²); e,

Ef é a eficiência de irrigação (decimal).

A eficiência de irrigação utilizada foi de 92,10 %, calculada por meio da avaliação do sistema de irrigação, após sua instalação.

Para o cálculo do volume aplicado, considerou-se também a precipitação efetiva e a fertirrigação (não diferenciada para os tratamentos).

4.4.3 Cálculo do tempo de irrigação

No experimento, o tempo de irrigação foi calculado através da Equação 4.

$$Ti = \left(\frac{V}{n \times q} \right) \times 60 \quad (4)$$

Em que: Ti é o tempo de irrigação, em minutos;

n é o número de microaspersores por planta (unid.);

q é a vazão média dos microaspersores (L h⁻¹);

60 é o fator de conversão do tempo para minutos.

Para o cálculo do tempo de irrigação, a vazão média dos microaspersores utilizada foi de 44,2 L h⁻¹, encontrada na avaliação do sistema de irrigação, após sua instalação.

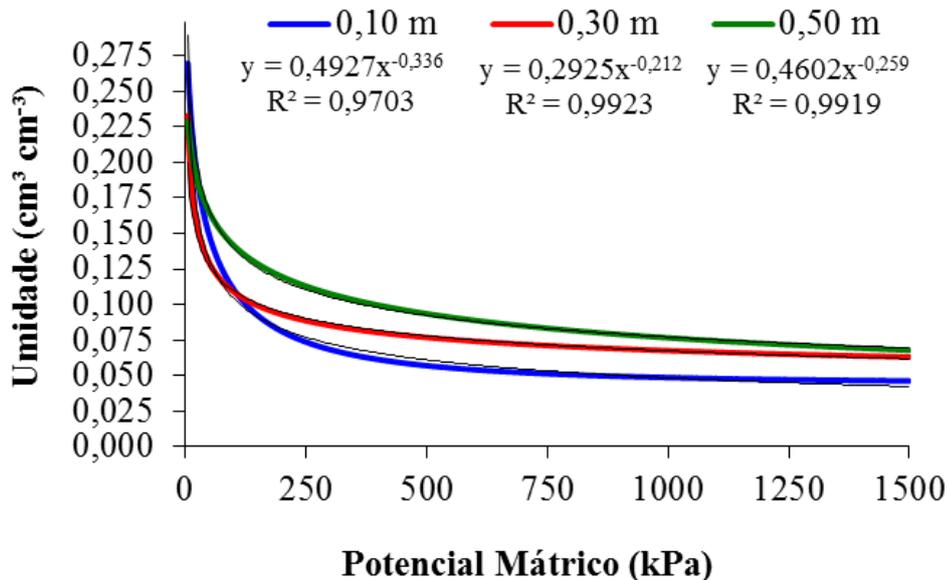
4.5 Perfil do estado da água no solo

Para a determinação do perfil do estado da água no solo, foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0,00 m – 0,20 m, 0,20 m – 0,40 m e 0,40 m – 0,60 m, e, no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio Norte/UEP-Parnaíba, realizou-se a determinação da curva de retenção de água do solo ou curva característica do solo (Figura 14).

A partir da curva característica do solo e com a instalação de uma bateria de tensiômetros em cada um dos tratamentos de lâmina de irrigação: T1, T2, T3, T4, T5 e T6, foi possível a determinação da umidade do solo e seu monitoramento. A bateria de tensiômetros estava instalada nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, correspondendo às camadas de 0,00 m – 0,20 m, 0,20 m – 0,40 m e 0,40 m – 0,60 m, respectivamente. Os tensiômetros distavam do colo da planta em 0,30 m.

O monitoramento da umidade no perfil do solo ocorreu diariamente entre 7 e 9 horas da manhã, sempre antes da aplicação de água de irrigação, e com o uso do tensiômetro digital para registro das leituras de tensões no solo.

Figura 14 – Curva característica de umidade do solo da área experimental



fonte: Análise realizada pelo Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio Norte/UEP-Parnaíba

Diariamente, uma planilha do *Software Excel* era abastecida com os dados advindos das leituras de tensão (mbar) realizadas nos tensiômetros com o tensímetro digital, sendo os mesmos transformados em potencial mátrico (kPa) e por conseguinte em umidade volumétrica, empregando-se as equações descritas na Figura 14.

Para a transformação das leituras de tensão em mbar para potencial matricial em kPa, utilizava-se a Equação 5.

$$\psi_m = \left(\frac{L_t}{10} \right) - (h_c \times 0,09807) \quad (5)$$

Em que: ψ_m é o potencial matricial do solo (kPa);

L_t é a leitura do tensímetro digital (mbar); e,

h_c é a altura da coluna de água no tensiômetro (cm).

Os dados de tensão de água no solo foram coletados desde junho de 2008 até o final do experimento, com o evento da última colheita, que ocorreu no início de dezembro de 2009.

Os dados gerados propiciaram a realização de uma análise estatística, considerando um delineamento de parcelas subdivididas, tendo as seis lâminas de irrigação como parcela e as três profundidades de instalação dos tensiômetros como subparcela.

4.6 Cultivo da tilápia

4.6.1 Instalações

Os peixes foram cultivados no reservatório pulmão (utilizado para a irrigação da goiabeira), que era um tanque escavado, a céu aberto e disposto no sentido leste-oeste. Como descrito, o reservatório possuía formato retangular, com dimensões de 54,00 m x 17,00 m e uma lâmina de água variando entre 1,50 m e 1,80 m (Figura 15). O tanque apresentava 918 m² de área útil de espelho d'água para o cultivo da tilápia.

Figura 15 – Reservatório pulmão utilizado para a irrigação da goiabeira e para o cultivo dos peixes



Quando se realiza piscicultura em tanques escavados, parte da água deve ser renovada periodicamente, em razão da ração não comida pelos peixes, assim como dos seus excretas, que, em alguns níveis, tornam a água nociva. Dessa forma, o sistema de escoamento (descrito detalhadamente no item irrigação da goiabeira) é fundamental em um cultivo desse tipo (Figura 16).

Figura 16 – Sistema de escoamento do reservatório pulmão utilizado para irrigação da goiabeira e para o cultivo dos peixes



i



ii



iii

onde: i – filtro de brita; ii – caixa d'água; e, iii – sistema de bombeamento dos efluentes da piscicultura.

4.6.2 Manejo da piscicultura

O reservatório foi povoado em dois momentos diferentes: em junho de 2008 (1º ciclo) e em junho de 2009 (2º ciclo), com juvenis de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), linhagem chitralada, revertidos sexualmente para machos, e

apresentando um peso médio de 25 g e comprimento médio de 6 cm no primeiro ciclo, e peso médio de 23 g e comprimento médio de 6 cm no segundo ciclo.

A capacidade de suporte de um viveiro (tanque escavado) com uma profundidade média de 1,0 m varia de 1,0 a 3,0 kg de peixe m^{-2} . Apesar de o reservatório apresentar uma lâmina d'água variando de 1,50 m a 1,80 m de profundidade, somente o primeiro metro de lâmina d'água é considerado como lâmina útil, pois a radiação solar penetra somente até uma profundidade de 1,0 m, nessas condições. Assim, a capacidade de suporte utilizada nesse trabalho foi de 3,0 kg de peixe m^{-2} . Considerando-se que os peixes seriam retirados com uma média de 0,6 kg, isto é, 5 peixes m^{-2} , a população de peixes utilizada foi de 4.590 peixes, aproximadamente.

Na ocasião do povoamento, foi realizada a 1ª Biometria (Figura 17) para conferir a qualidade dos alevinos comprados, e, após a estocagem foi estabelecido um período de uma semana para aclimação dos peixes às instalações e para o início do manejo. As biometrias foram realizadas a cada 35 dias. Os ciclos adotados foram de 175 dias. Dessa forma, o primeiro e o segundo ciclo foram finalizados no mês de dezembro de 2008 e de 2009, ocasião em que foi realizada a sexta e última biometria.

Figura 17 – Povoamento do reservatório de irrigação da goiabeira com juvenis de tilápia, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



onde: i – Peixamento de juvenis de tilápia; e, ii – 1ª biometria de conferência dos alevinos (1ª Biometria).

Os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada, composta de 40 %, 35 %, 32 % e 28 % de proteína bruta (PB), com peletes de 4 mm, 6 mm e 8 mm de diâmetro, com taxa alimentar de 5,0 % a 2,5 % do peso vivo por dia, distribuída em quatro e três refeições diárias, de acordo com as várias fases de desenvolvimento e conforme apresentado

na Tabela 2. A quantidade de ração fornecida foi controlada por meio de pesagem em balança digital com precisão de 0,05 g.

Tabela 2 – Valores utilizados no manejo alimentar de tilápia nilótica durante o experimento

Dia	Peso vivo (g)	Refeição dia ⁻¹	Taxa alimentar (% PV)	% PB na ração	Diâmetro do pelete (mm)
Até 36	50 – 130	4	5,0	40	4
37 a 56	130 – 170	4	5,0	35	4
57 a 112	170 – 280	3	5,0	32	6
113 a 140	280 – 580	3	4,0	28	8
140 a 180	580 – 720	3	2,5	28	8

4.6.3 Características avaliadas

4.6.3.1 Características de crescimento dos peixes

O crescimento dos peixes foi acompanhado por meio de biometrias realizadas no dia da sua estocagem no reservatório, e, a cada 35 dias, sempre no horário da manhã. Na biometria inicial, tomou-se uma amostra de peixe correspondente a 5 % da população, determinando-se individualmente o peso corporal (g) em balança digital com precisão de 0,01 g e comprimento total (cm) com ictiômetro (régua colada a um tudo de PVC cortado em seu sentido longitudinal). Nas biometrias realizadas após a estocagem, tomou-se uma amostra de peixe correspondente a 15 % da população do tanque. Estes foram capturados com auxílio da rede de arrasto e tarrafa, e submetidos às mensurações de peso corporal e comprimento total, conforme já descrito (Figura 18).

Figura 18 – Manejo do cultivo e biometria de tilápia no reservatório pulmão de irrigação da goiabeira, Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí



onde: i – captura dos peixes por meio de tarrafa; ii – retirada do peixe do reservatório; iii – pesagem do peixe; e, iv – mensuração do comprimento do peixe.

4.6.3.2 Indicadores de desempenho dos peixes

Com os dados obtidos, foram determinadas as seguintes características de desempenho: ganho de peso absoluto (GPA), em g; ganho de peso relativo (GPR), em %; ganho de comprimento absoluto (GCA), em g; ganho de comprimento relativo (GCR), em %; fator de condição (K), adimensional; ganho de peso diário médio (GPD), em g dia⁻¹; taxa de crescimento específico (TCE), em % dia⁻¹; taxa de sobrevivência (S), em %; ganho de biomassa ou biomassa líquida (B), em g; e, conversão alimentar (CA), adimensional, alcançadas por meio das equações relacionadas a seguir:

$$GPA = Pf - Pi \quad (9)$$

$$GPR = \left[\left(\frac{Pf}{Pi} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (10)$$

$$GCA = Cf - Ci \quad (11)$$

$$GCR = \left[\left(\frac{Cf}{Ci} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (12)$$

$$K = \frac{W}{L^b} \quad (13)$$

$$GPD = \frac{Pf - Pi}{t} \quad (14)$$

$$TCE = \frac{\ln_{Pf} - \ln_{Pi} \times 100}{t} \quad (15)$$

$$S = \frac{Nf}{Ni} \times 100 \quad (16)$$

$$B = Nf \times (Pf - Pi) \quad (17)$$

$$CA = \frac{Qro}{(Pf - Pi) \times Nf} \quad (18)$$

Em que: Pf é o peso médio dos peixes no final do experimento (g);

Pi é o peso médio dos peixes no início do experimento (g);

Cf é o comprimento médio dos peixes no final do experimento (g);

Ci é o comprimento médio dos peixes no início do experimento (g);

W é o peso corporal (g);

L é o comprimento total (cm);

b é o coeficiente angular da relação peso/comprimento (adimensional);

t é a duração do cultivo (dias);

\ln é o log neperiano (adimensional);

N_f é o número de peixes no final do experimento (unidades);

N_i é o número de peixes no início do experimento (unidades); e,

Q_{ro} é a quantidade de ração ofertada (g).

4.6.3.3 *Análise química do efluente da piscicultura*

Ao longo do ciclo de cultivo dos peixes (175 dias), realizaram-se seis amostragens (a cada 30 dias) da água utilizada na irrigação da cultura da goiabeira. Isso para se conhecer as concentrações de cátions e ânions, compostos nitrogenados e fosfatados, pH e condutividade elétrica (CE) do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira. As amostras foram coletadas na lâmina média de água do reservatório utilizado para armazenamento de água e piscicultura, aproximadamente a 1,0 m do seu fundo.

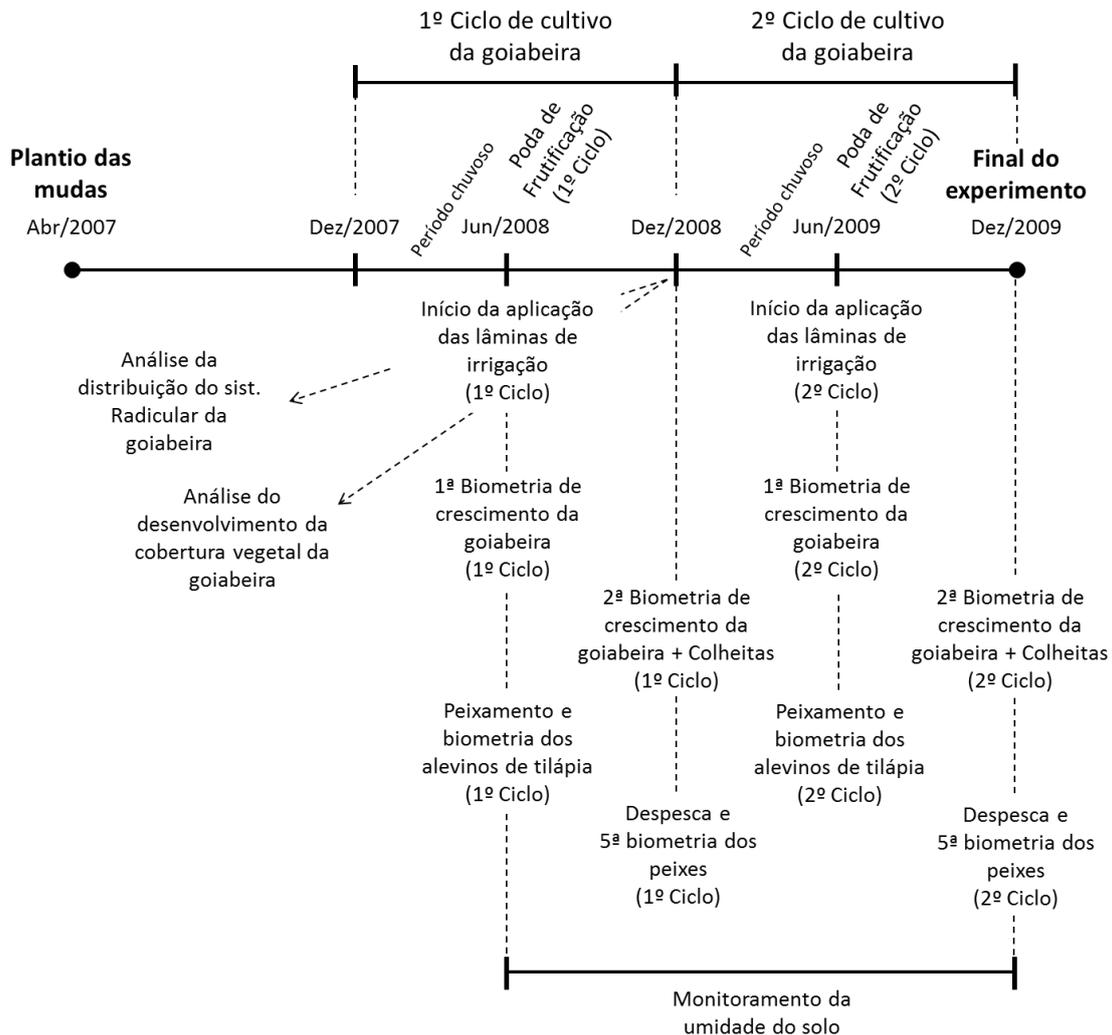
De posse das amostras de efluente, estas foram encaminhadas para o Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio Norte/UEP-Parnaíba, onde determinou-se as: concentrações de cátions e ânions, pH (unidade padrão) e condutividade elétrica – CE (dS m^{-1}); e das características limnológicas: nitrito (mg L^{-1}), nitrato (mg L^{-1}) e amônia ionizada (mg L^{-1}); e, ortofosfato (mg L^{-1}).

O monitoramento ocorreu nos meses de junho a dezembro nos dois anos, abrangendo os efluentes dos tanques de cultivo dos peixes aplicados via irrigação à cultura da goiabeira. Esses dados contribuíram para definir a qualidade da água para o cultivo de tilápias, caracterizar o potencial de produção de nutrientes a partir dos diversos tratamentos, quantificar a redução na aplicação de fertilizantes comerciais, e, conseqüentemente, sua influência sobre o solo.

4.7 Resumo cronológico do experimento

Na Figura 19, podemos visualizar os espaços temporais onde os eventos relacionados aos experimentos ocorreram. Chama-se atenção para o início de aplicação de lâminas de efluente da piscicultura, que ocorreu com o final do período chuvoso e com o peixamento no reservatório pulmão. É importante verificar que, na eminência da aplicação das lâminas, fez-se também a poda de frutificação.

Figura 19 – Resumo cronológico da execução do experimento



4.8 Avaliação financeira do uso múltiplo de água na irrigação e piscicultura

A avaliação financeira dos sistemas de produção de goiaba e de peixe levou em consideração as receitas obtidas com as produções e a redução de fertilizantes utilizados na adubação da cultura da goiabeira, em decorrência dos nutrientes provenientes dos resíduos excretados pelos peixes.

Sob condições irrigadas, quando se considera a relação geral entre água aplicada e custos de produção, assumindo-se que se pode representar o custo de produção por uma função linear, tem-se de acordo com Hart *et al.* (1980):

$$c_{(w)} = c_{fx} + (c_w \cdot w) \quad (19)$$

em que: $c_{(w)}$ é o custo total de produção da cultura irrigada ($\text{R\$ ha}^{-1}$);
 c_{fx} são os custos fixos de produção ($\text{R\$ ha}^{-1}$);
 c_w são os custos que dependem diretamente da quantidade de água aplicada ($\text{R\$ m}^{-3}$);
e,
 w é o volume de água aplicado ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Os benefícios do uso múltiplo de água, considerando a redução na quantidade de fertilizantes aplicada no solo, ocasionada pelo uso da água biofertilizada, isto é, efluente da piscicultura, e a receita total obtida com a comercialização dos peixes, são representados pelas seguintes funções lineares:

$$b_{(wm)} = c_{(w)} - (c_f \cdot q_f) \quad (20)$$

em que: $b_{(wm)}$ é o custo total de produção com o uso múltiplo de água ($\text{R\$ ha}^{-1}$);
 c_f são os custos dos fertilizantes ($\text{R\$ kg}^{-1}$); e,
 q_f é a quantidade de fertilizante que deixará de ser aplicado (kg ha^{-1}).

$$R_{(t)} = R_{(g)} + R_{(p)} - b_{(wm)} \quad (21)$$

em que: $R_{(t)}$ é a receita total de produção com o uso múltiplo de água ($\text{R\$ ha}^{-1}$);
 $R_{(g)}$ é a receita bruta obtida com a comercialização da goiaba ($\text{R\$ ha}^{-1}$); e,
 $R_{(p)}$ é a receita líquida obtida com a comercialização dos peixes ($\text{R\$ Ciclo}^{-1}$).

4.9 Análise estatística

De posse dos dados, cada característica passou por uma análise de variância (Anova). Posteriormente, quando significativo, os dados foram submetidos à análise de regressão, e as equações que melhor se ajustaram foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão a 1% (**) e 5% (*) de probabilidade pelo teste F e no maior coeficiente de determinação (r^2). Também, ocorreram comparações de médias com a aplicação do teste de Tukey. Esses estudos receberam o auxílio de planilhas do *Software Excel* e *Software Estatístico "Assistat 7.6 beta"*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características climáticas no período

Os dados meteorológicos médios mensais, referentes aos anos de 2008 e 2009, foram coletados na estação agrometeorológica automática, instalada no Projeto Piloto de Fruticultura Irrigada de Santa Rosa do Piauí/Codevasf, e podem ser visualizados na Tabela 3. Com essa coleta foi possível realizar o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizando o método de Penman-Monteith, padronizado pela FAO (ALLEN, 1998).

A precipitação total anual registrada nos dois anos de realização do experimento foi de 1.159 mm e 1.108 mm, respectivamente, para 2008 e 2009. Esses valores estão um pouco acima do considerado como o nível mínimo de chuvas (entre 800 mm e 1.000 mm) para que não haja necessidade de irrigações complementares para o bom desenvolvimento da cultura da goiabeira, e, obtenção de safras compensadoras (MEDINA, 1991), desde que a distribuição no tempo seja regular. Entretanto, esse mesmo autor aponta que, apesar de a goiabeira ser relativamente resistente à seca, é afetada de forma significativa pela distribuição irregular das chuvas.

Segundo Manica *et al.* (2000), mesmo em regiões onde a precipitação anual ultrapassa 1.000 mm, a falta de água disponível no solo, em épocas de elevada necessidade hídrica da goiabeira, pode resultar na formação de frutos pequenos, e, conseqüentemente, em menor produção por planta.

No caso em questão, para os dois anos, aproximadamente 90 % da precipitação total anual ocorreu em apenas cinco meses, de janeiro a abril e em dezembro, logo, uma distribuição de chuvas desuniforme ao longo do ano, o que justifica a irrigação para a goiabeira no município de Santa Rosa do Piauí-PI.

Ainda na Tabela 3 é possível verificar que a ET_o no ano de 2009 foi de 763,72 mm, inferior a aquela medida para o ano de 2008 em 147,00 mm. Esse valor de ET_o no ano de 2009 inferior a de 2008 é reflexo dos menores valores médios de velocidade do vento e saldo de radiação solar, além dos maiores valores de umidade relativa registrados no período. A única exceção foi nos registros de temperatura do ar, cujos valores foram ligeiramente superiores àqueles registrados no ano de 2008, não contribuindo para a redução da ET_o.

Tabela 3 – Valores médios de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, saldo de radiação, evapotranspiração de referência e precipitação, Santa Rosa do Piauí - PI (2008 e 2009)

Mês	Anos											
	2008						2009					
	T (°C)	UR (%)	U ₂ (m s ⁻¹)	Rn (MJ m ⁻²)	ET _o (mm)	P (mm)	T (°C)	UR (%)	U ₂ (m s ⁻¹)	Rn (MJ m ⁻²)	ET _o (mm)	P (mm)
Jan	26,34	78,26	0,55	161,57	57,64	147,80	26,19	80,67	0,41	179,13	57,79	172,20
Fev	25,56	82,24	0,45	160,11	52,64	124,80	25,43	87,23	0,37	137,71	42,57	220,00
Mar	24,54	90,56	0,36	143,88	42,55	425,20	25,56	88,10	0,28	138,63	42,11	214,20
Abr	25,18	88,45	0,41	158,89	49,06	218,80	25,14	91,38	0,32	109,82	33,02	242,40
Mai	25,15	82,55	0,56	168,95	56,83	59,00	25,00	88,64	0,34	110,50	35,17	77,00
Jun	24,13	71,09	0,74	169,70	65,26	4,80	24,58	78,79	0,53	124,70	47,22	8,60
Jul	24,96	57,93	1,19	180,74	85,10	5,40	25,55	64,30	0,91	134,98	66,90	5,40
Ago	26,84	48,65	1,36	209,27	104,94	3,20	27,15	51,31	1,20	152,11	86,09	0,40
Set	29,38	39,64	1,41	224,47	115,78	9,20	29,46	41,46	1,06	162,69	89,39	1,00
Out	30,50	37,28	1,42	239,46	130,10	2,00	30,36	39,43	1,32	212,67	116,89	7,40
Nov	30,15	45,94	0,81	198,54	91,45	26,60	30,05	46,95	0,78	196,02	89,36	26,60
Dez	26,68	76,66	0,45	174,43	59,39	132,80	26,61	77,13	0,45	168,73	57,19	132,80
Média	26,62	66,61	0,81	-	-	-	26,76	69,62	0,66	-	-	-
Total	-	-	-	2.189,99	910,72	1.159,60	-	-	-	1.827,68	763,72	1.108,00

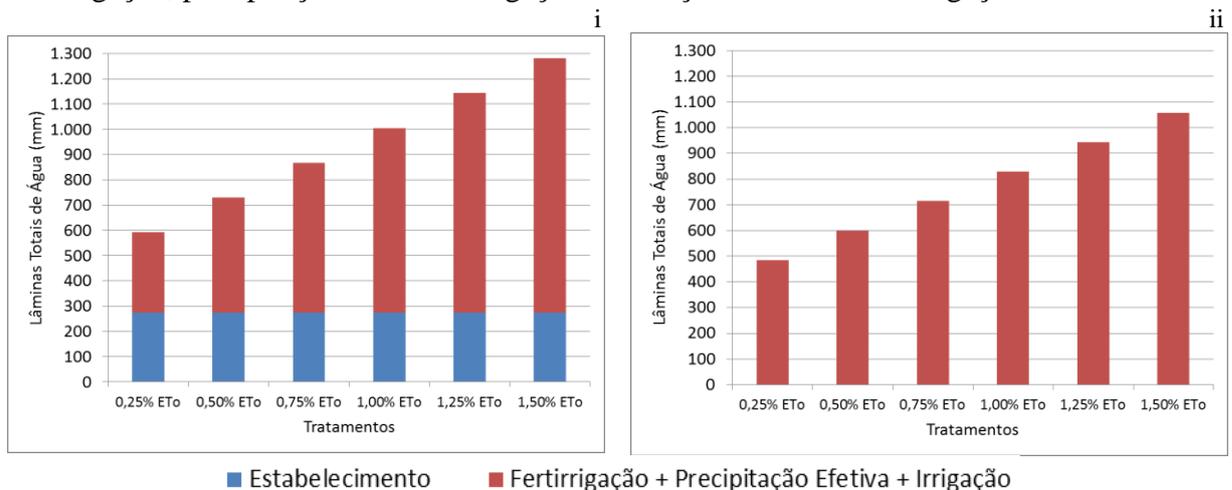
em que: T é a temperatura do ar; UR é a umidade relativa do ar; U₂ é a velocidade do vento a 2,0 metros de altura; Rn é o saldo de radiação; ET_o é a evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith, padronizado pela FAO; e, P é a precipitação pluviométrica.

5.2 Lâminas totais de água aplicadas

Os primeiros 160 dias do ano de 2008, isto é, até o dia 08/06/2008, foram destinados ao estabelecimento da cultura, portanto, não foram diferenciadas as lâminas de água aplicadas aos tratamentos. A partir do 161º dia juliano até o início do período chuvoso, definido como o 325º dia juliano, ou seja, até o dia 20/11/2008, as quantidades de água foram diferenciadas de acordo com os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente, para os níveis de irrigação correspondente a de 25 %; 50 %; 75 %; 100 %; 125 % e 150 % da ETo.

As lâminas de irrigação aplicadas em cada tratamento, referentes aos anos de 2008 e 2009 (Tabela 4), resultaram do somatório das entradas de água provenientes da irrigação, da fertirrigação e da precipitação efetiva. Por esses valores, pode-se verificar que as lâminas aplicadas no ano de 2008 foram superiores em média 21 % às aplicadas em 2009. Pela Figura 20, verifica-se que, para o ano de 2008, houve a aplicação de água para o estabelecimento das plantas em uma quantidade de 46 %, 38 %, 32 %, 27 %, 24 % e 21 % do total aplicado no mencionado período, para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente. Isso foi necessário para que todas as plantas tivessem a garantia de desenvolvimento inicial satisfatório.

Figura 20 – Lâminas totais de água aplicadas para o estabelecimento da cultura, na fertirrigação, precipitação efetiva e irrigação em função dos níveis de irrigação adotados



em que: i – ano de 2008; e, ii – ano de 2009.

Tabela 4 – Lâminas totais de água (mm) aplicadas nos tratamentos durante o período de realização do experimento, Santa Rosa do Piauí - PI (2008-2009)

Mês	Anos											
	2008						2009					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	(mm)						(mm)					
Jan	80	80	80	80	80	80	65	65	65	65	65	65
Fev	60	60	60	60	60	60	48	48	48	48	48	48
Mar	62	62	62	62	62	62	54	54	54	54	54	54
Abr	63	63	63	63	63	63	41	41	41	41	41	41
Mai	62	62	62	62	62	62	40	40	40	40	40	40
Jun	30	43	56	69	82	94	19	29	38	48	57	66
Jul	24	45	66	88	109	130	18	34	51	68	84	101
Ago	28	55	81	107	133	160	21	43	64	85	107	128
Set	31	60	89	118	147	176	23	46	68	90	113	135
Out	33	66	98	131	163	196	30	59	88	116	145	174
Nov	53	69	85	99	117	133	49	65	81	98	114	130
Dez	65	65	65	65	65	65	76	76	76	76	76	76
Total	591	729	867	1.004	1.143	1.281	484	599	714	829	944	1.059

5.3 Perfil do estado de água no solo

O monitoramento do estado da água no solo realizado por meio de tensiômetros, instalados nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, para as camadas de 0,00 m - 0,20 m, 0,20 m - 0,40 m e 0,40 m - 0,60 m, respectivamente, possibilitou a observação do potencial matricial do solo, e, conseqüentemente, de sua umidade, nos perfis citados, ao longo da execução do experimento (Figuras 21 a 26).

Para Bassoi *et al.* (2002), o momento ideal de irrigar a goiabeira, utilizando-se do potencial matricial do solo, é quando o mesmo atingir valores próximos a -30 kPa, considerando a profundidade efetiva das raízes como 0,60 m. Entretanto, objetivando a elevação da umidade do solo sempre à capacidade de campo, o potencial matricial deverá estar em torno de -10 kPa.

Os dados foram organizados em grupos de médias para 5 períodos em 2008 e 10 períodos em 2009, foi possível realizar a análise estatística dos dados (Tabelas 5 e 6). Pela análise de variância, observou-se que o potencial matricial do solo (kPa) e a umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) apresentaram diferenças estatisticamente significativas a ($p < 0,01$) para os tratamentos níveis de irrigação, profundidades dos tensiômetros, e, para a interação níveis de irrigação x profundidades dos tensiômetros, no ano de 2008.

Para o ano de 2009, a análise é semelhante, com exceção à interação níveis de irrigação x profundidades dos tensiômetros, em que o potencial matricial apresentou diferença estatística ($p < 0,05$); níveis de irrigação, no qual a umidade do solo apresentou diferença estatística ($p < 0,05$); e, a umidade do solo, que não se diferenciou significativamente. Esse comportamento observado para o estado da água no solo durante a realização do experimento já era esperado, haja vista que foram aplicadas lâminas de água diferentes para cada tratamento, deixando assim o solo mais próximo da capacidade de campo, nas maiores lâminas, e mais distantes deste estado nas menores lâminas aplicadas. Além disso, cada camada avaliada apresenta característica hidráulica diferenciada.

Ainda de acordo com as Tabelas 5 e 6, verifica-se que no ano de 2008, o valor médio de potencial matricial do solo foi de -46 kPa, com coeficientes de variação de 30,77 % e 9,10 % para os tratamentos de níveis de irrigação e profundidades dos tensiômetros, respectivamente. Da mesma forma, o valor médio de umidade do solo foi de $0,1501 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com CV variando entre 9,87 % e 3,57 % para níveis de irrigação e profundidades dos tensiômetros, respectivamente.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância do potencial matricial e umidade do solo em função dos níveis de irrigação e profundidade de instalação dos tensiômetros, ano de 2008

FV	GL	QM	
		$ \psi_m $ (kPa)	Θ (cm ³ cm ⁻³)
Níveis de Irrigação	5	3084,48**	0,00286**
Erro (A)	24	203,23	0,00022
Prof. Tensiômetros	2	147,76**	0,02021**
Níveis de Irrigação x Prof. Tensiômetros	10	135,59**	0,00038**
Erro (B)	48	17,78	0,00003
Total	89	-	-
Média	-	46,3367	0,15012
CV Níveis de Irrigação (%)	-	30,77	9,87
CV Prof. Tensiômetros (%)	-	9,10	3,57

em que: $|\psi_m|$ é o potencial matricial em módulo; Θ é o umidade volumétrica; e, ** é a significância à 1,0 %.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância do potencial matricial e umidade do solo em função dos níveis de irrigação e profundidade de instalação dos tensiômetros, ano de 2009

FV	GL	QM	
		$ \psi_m $ (kPa)	Θ (cm ³ cm ⁻³)
Níveis de Irrigação	5	1483,49**	0,00139*
Erro (A)	45	374,69	0,00042
Prof. Tensiômetros	2	1880,57**	0,06684**
Níveis de Irrigação x Prof. Tensiômetros	10	63,39*	0,00018 ^{ns}
Erro (B)	108	27,84	0,00010
Total	179	-	-
Média	-	38,95659	0,15792
CV Níveis de Irrigação (%)	-	49,69	12,99
CV Prof. Tensiômetros (%)	-	13,54	6,24

em que: $|\psi_m|$ é o potencial matricial em módulo; Θ é o umidade volumétrica; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; e, ** significância à 1,0 %.

Situação semelhante foi verificada nas avaliações realizadas em 2009, cujos valores médios de potencial matricial e umidade do solo, com os respectivos coeficientes de variação foram de -39 kPa (49,69 % e 13,54 %) e de 0,1579 cm³ cm⁻³ (12,99 % e 6,24 %) para níveis de irrigação e profundidades dos tensiômetros, respectivamente. Entretanto, para o potencial matricial, constatou-se uma diferença considerável entre os coeficientes de variação,

principalmente pelo fato de o início propriamente dito do experimento ter se dado apenas em junho de 2008, sendo contabilizados para esse ano apenas os dados de potencial matricial para o período em que as plantas estavam recebendo irrigação. Já para o ano de 2009, todos os dados, desde o período chuvoso até o período em que as plantas estavam recebendo irrigação, foram considerados na análise, causando assim grande variação.

Para os dados agrupados no nível de irrigação T1, em 2008, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, constatou-se que o potencial matricial e a umidade do solo oscilaram entre: -73 e -51 kPa e 0,1168 e 0,1315 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -73 e -53 kPa e 0,1179 e 0,1270 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -74 e -60 kPa e 0,1510 e 0,1598 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$, respectivamente, evidenciando que, em nenhuma das profundidades, as plantas foram mantidas sob teores adequados de umidade, segundo Bassoi *et al.* (2002) e Ferreira (2004). Comportamento semelhante foi observado no tratamento T2, para esse mesmo ano, quando se constatou que os valores de potencial matricial e umidade do solo oscilaram entre: -64 e -33 kPa e 0,1219 e 0,1520 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -65 e -55 kPa e 0,1208 e 0,1252 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -65 e -53 kPa e 0,1559 e 0,1658 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$, para as respectivas profundidades. Assim, apenas para a profundidade de 0,10 m, no tratamento T2, o potencial matricial se mostrou adequado para o cultivo da goiabeira, conforme descreveram Bassoi *et al.* (2002) e Ferreira (2004).

No caso da lâmina aplicada no tratamento T3, ainda em 2008, observou-se que os valores de potencial matricial e de umidade do solo oscilaram entre: -61 e -34 kPa e 0,1242 e 0,1519 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -62 e -30 kPa e 0,1223 e 0,1432 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -61 e -38 kPa e 0,1589 e 0,1797 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$, respectivamente para as profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m. Nesse caso, os valores adequados de potencial matricial para a cultura foram alcançados nas profundidades de 0,10 m e 0,30 m. Para o tratamento T4 = 100 % da ETo, foi constatado que os valores de potencial matricial e umidade do solo oscilaram entre: -57 e -26 kPa e 0,1272 e 0,1691 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -60 e -18 kPa e 0,1226 e 0,1592 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$; -38 e -26 kPa e 0,1819 e 0,2018 $\text{cm}^{-3} \text{cm}^{-3}$, para as respectivas profundidades. Logo, para as três profundidades, em determinado período do experimento, o solo apresentava condições adequadas de umidade do solo para a cultura da goiabeira. O mesmo ocorreu para os tratamentos T5 e T6, tanto nos valores mínimos quanto máximos.

Ferreira (2004), estudando a distribuição do sistema radicular e o consumo de água da goiabeira “Cultivar Paluma” irrigada por microaspersão em Petrolina-PE, manteve o solo com potencial matricial dentro do intervalo de -40 a -10 kPa, obtendo produtividades superiores a 24.000 kg ha^{-1} , valor considerado satisfatório para pomares estabelecidos, isto é, após o terceiro ano de cultivo. Nesse trabalho, para as avaliações realizadas em 2008, os

tratamentos T4 à profundidade de 0,50 m, e T5 e T6 em todas as profundidades, mantiveram os valores de potencial matricial dentro desse intervalo. Isso indica que as plantas desses tratamentos foram cultivadas dentro dos níveis adequados de umidade do solo.

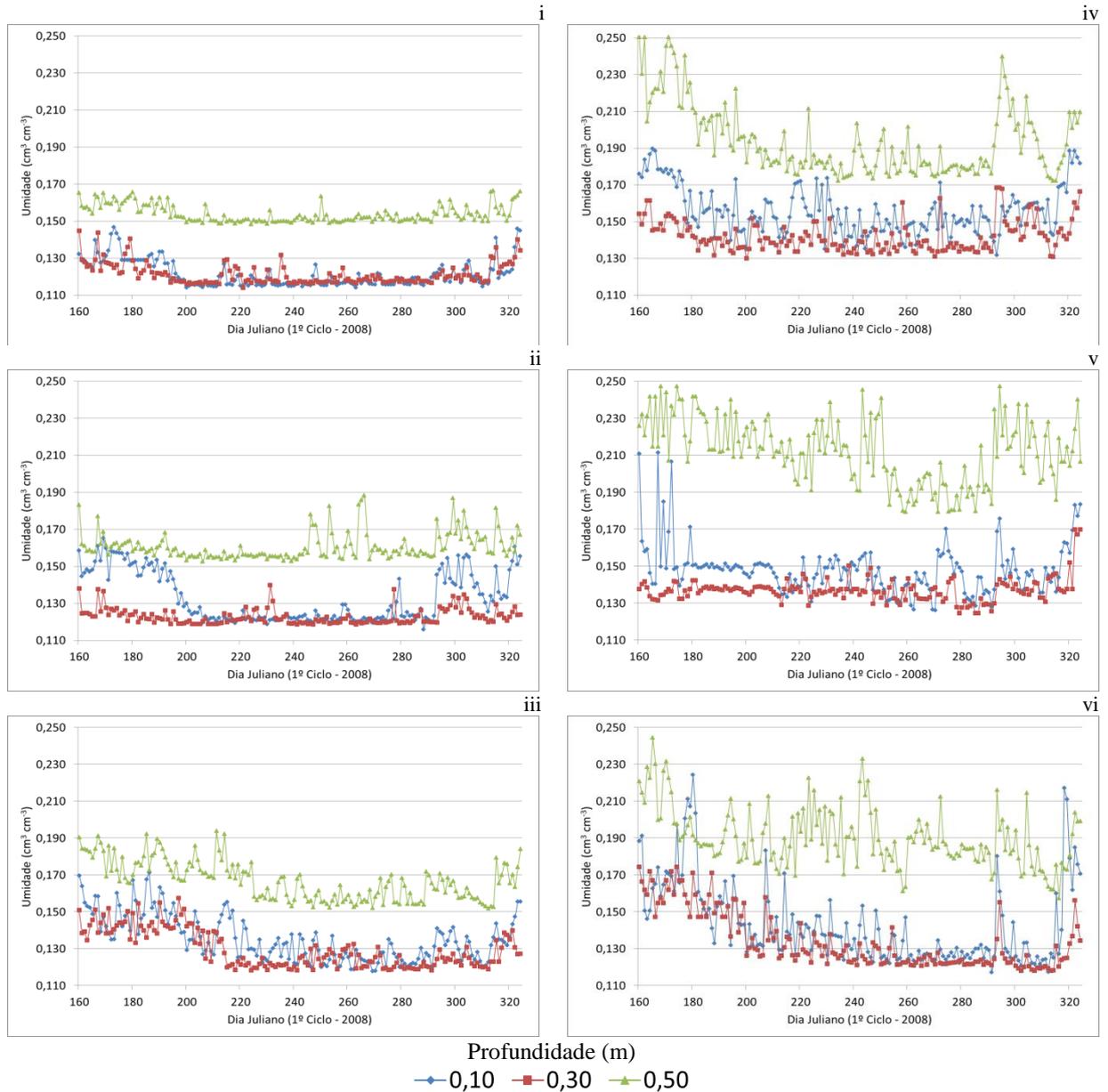
Ao analisarmos as Figuras 21, 22, 24 e 25, constata-se uma considerável variabilidade dos dados coletados de potencial matricial do solo diário para cada profundidade dos tensiômetros.

Figura 21 – Potencial matricial do solo (kPa) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2008



em que: i – tratamento 0,25%ETo; ii – tratamento 0,50%ETo; iii – tratamento 0,75%ETo; iv – tratamento 1,00%ETo; v – tratamento 1,25%ETo; e, vi – tratamento 1,50%ETo.

Figura 22 – Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2008



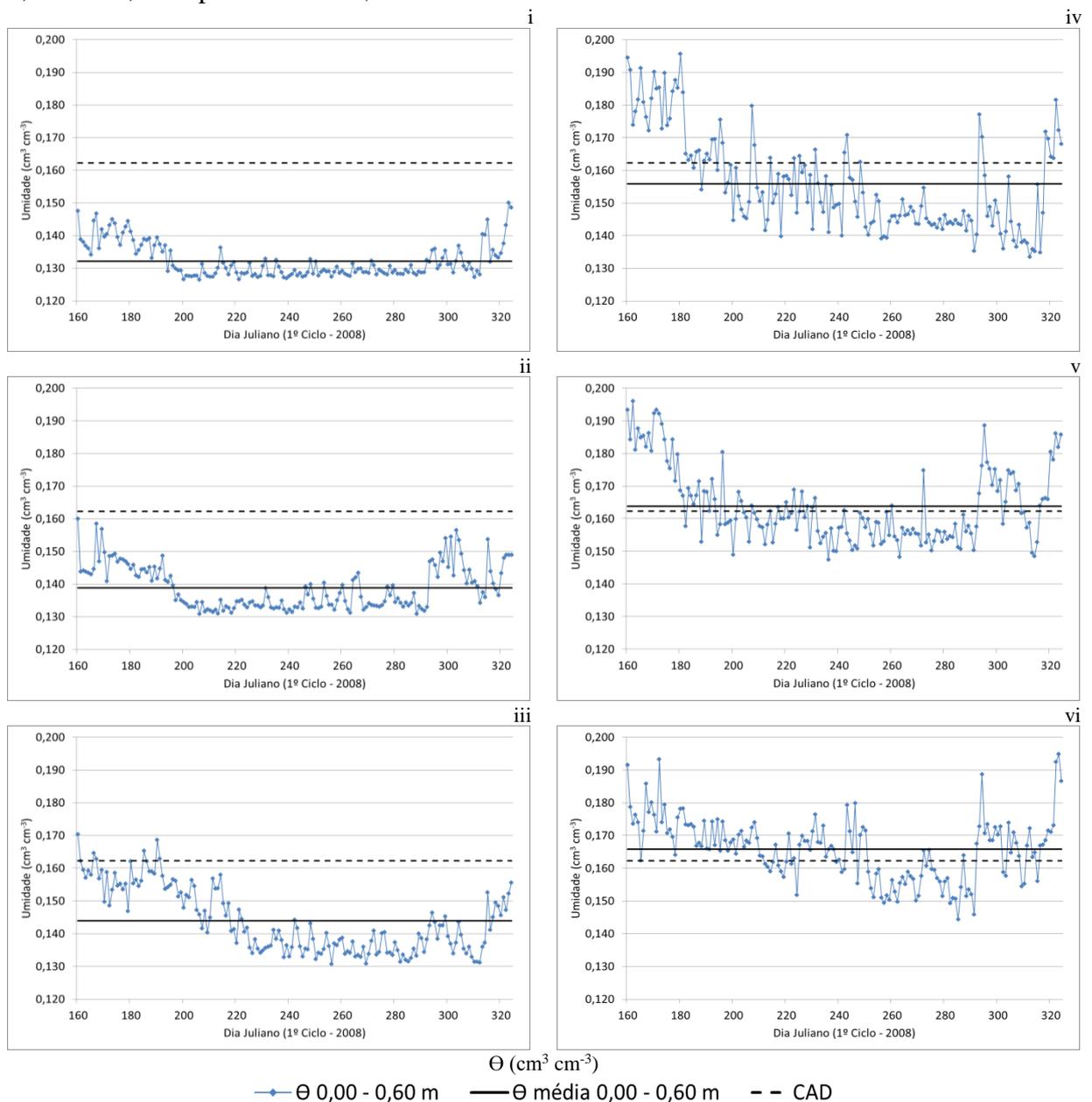
em que: i – tratamento 0,25%ETo; ii – tratamento 0,50%ETo; iii – tratamento 0,75%ETo; iv – tratamento 1,00%ETo; v – tratamento 1,25%ETo; e, vi – tratamento 1,50%ETo.

Em geral, a literatura defende que a maior concentração de raízes da goiabeira “Cultivar Paluma” irrigada ocorre na camada de 0,00 m - 0,60 m. Resultados de pesquisa obtidos por Ferreira (2004), sobre distribuição do sistema radicular e consumo de água da goiabeira “Cultivar Paluma” irrigada por microaspersão em Petrolina-PE, revelaram que 80 % das raízes estendem-se até a profundidade de 0,94 m e a uma distância de 1,23 m do caule da planta.

Mediante análise dos valores médios de umidade na camada de 0,00 m - 0,60 m, considerando as medidas (dia a dia) em todo o período e na capacidade de água

disponível (CAD), a partir do 160º dia juliano (início das diferenciações de lâminas), notou-se que: o valor médio da CAD foi de $0,1623 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; os valores médios de umidade do solo, considerando todo período para os tratamentos T1, T2 e T3, foram bem maiores do que o valor médio da CAD. Já para o tratamento T4, o valor médio de umidade do solo se manteve ligeiramente inferior ao valor médio da CAD, com uma pequena diferença de $0,0063 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, cerca de 4 %. Nos tratamentos T5 e T6, os valores médios de umidade do solo foram superiores aos dos demais tratamentos, além de ficar acima do valor médio da CAD (Figura 23).

Figura 23 – Distribuição de umidade do solo, média da umidade do solo e CAD na camada de 0,00 m – 0,60 m por tratamento, no ano de 2008



em que: i – tratamento 0,25%ET_o; ii – tratamento 0,50%ET_o; iii – tratamento 0,75%ET_o; iv – tratamento 1,00%ET_o; v – tratamento 1,25%ET_o; e, vi – tratamento 1,50%ET_o.

Diante dessas variações de umidade em relação à capacidade máxima de água disponível (CAD) no solo, as lâminas aplicadas nos tratamentos T4 (1.004 mm), T5 (1.143 mm) e T6 (1.281 mm) favoreceram perfis médios de umidades mais adequados para a cultura da goiabeira, isto é, sem restrição de umidade ou estresse hídrico prolongado na camada de 0,00 m – 0,60 m.

Para os dados agrupados no nível de irrigação T1, em 2009, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, constatou-se que os valores de potencial matricial e a umidade do solo oscilaram entre: -73 e -32 kPa e 0,1168 e 0,1571 cm⁻³ cm⁻³; -72 e -36 kPa e 0,1182 e 0,1371 cm⁻³ cm⁻³; -75 e -16 kPa e 0,1506 e 0,2277 cm⁻³ cm⁻³, respectivamente, evidenciando que, em todas as profundidades, as plantas foram mantidas sob teores adequados de umidade em determinados momentos. Comportamento semelhante foi observado nos tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6, para esse mesmo ano, tal como determinado por Bassoi *et al.* (2002) e Ferreira (2004), em cujas conclusões, estabeleceram que a necessidade hídrica adequada para a cultura da goiabeira deve se situar entre o potencial mátrico de -40 e -10 kPa, para obter produtividades satisfatórias. Em 2009, assim como em 2008, os tratamentos T4 à profundidade de 0,50 m, e T5 e T6 em todas as profundidades, mantiveram os valores de potencial matricial do solo dentro desse intervalo. Logo, para as três profundidades, nos seis níveis de irrigação, em determinado período do experimento, o solo apresentou condições adequadas de umidade para a cultura da goiabeira.

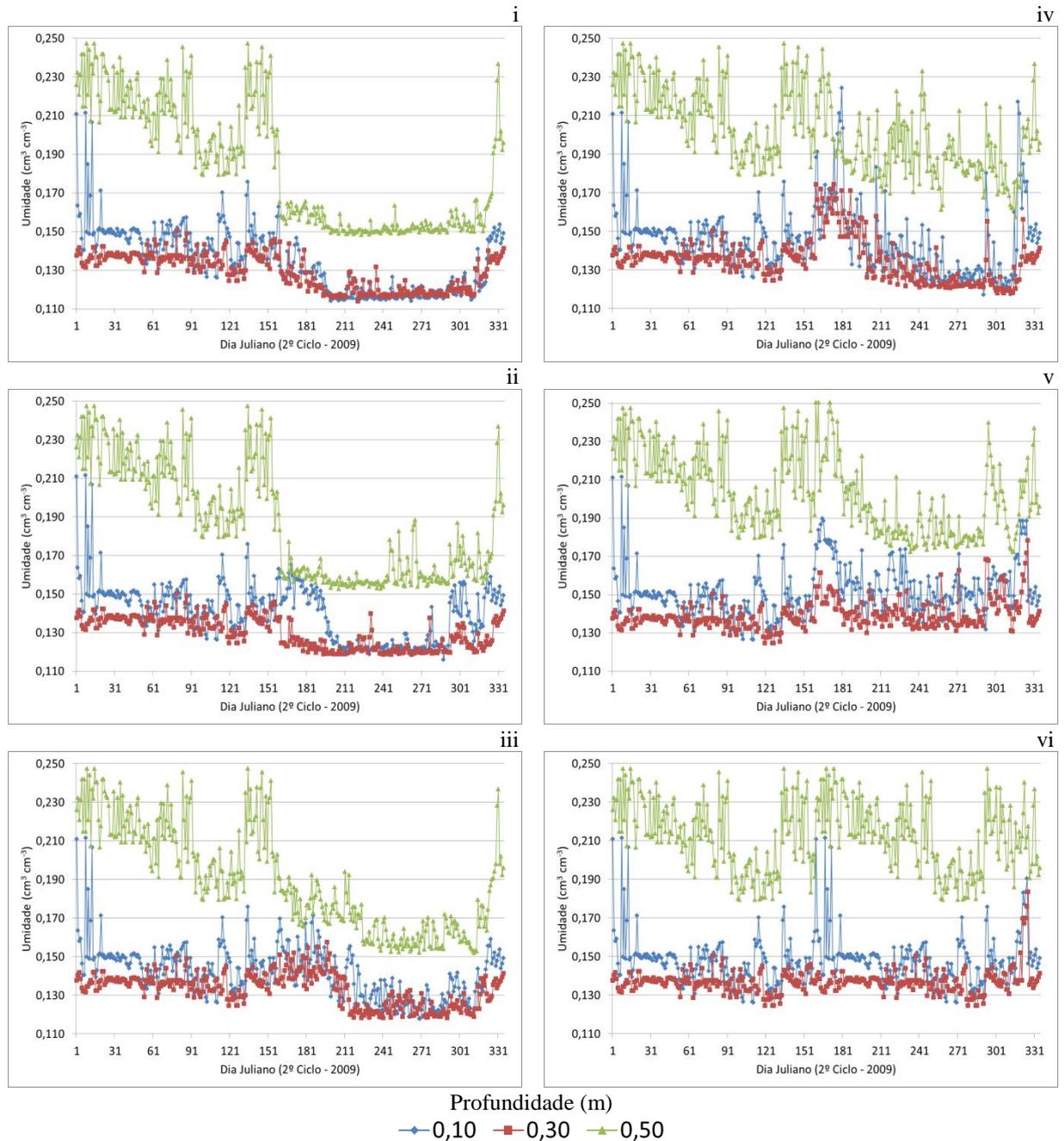
O fato de todos os tratamentos apresentarem em algum período, no ano de 2009, valores de potencial matricial e umidade do solo em condições adequadas, diferentemente de 2008, deve-se, provavelmente, aos dados avaliados e analisados referentes ao período chuvoso (meses de janeiro a maio). Entretanto, quando foram analisados os dados relativos à 2009, a partir do 160º dia juliano, verificou-se, tal como em 2008, um comportamento bastante semelhante entre os perfis de distribuição da água no solo.

Figura 24 – Potencial matricial do solo (kPa) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2009



em que: i – tratamento 0,25%ET_o; ii – tratamento 0,50%ET_o; iii – tratamento 0,75%ET_o; iv – tratamento 1,00%ET_o; v – tratamento 1,25%ET_o; e, vi – tratamento 1,50%ET_o.

Figura 25 – Umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) por tratamento, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, no ano de 2009

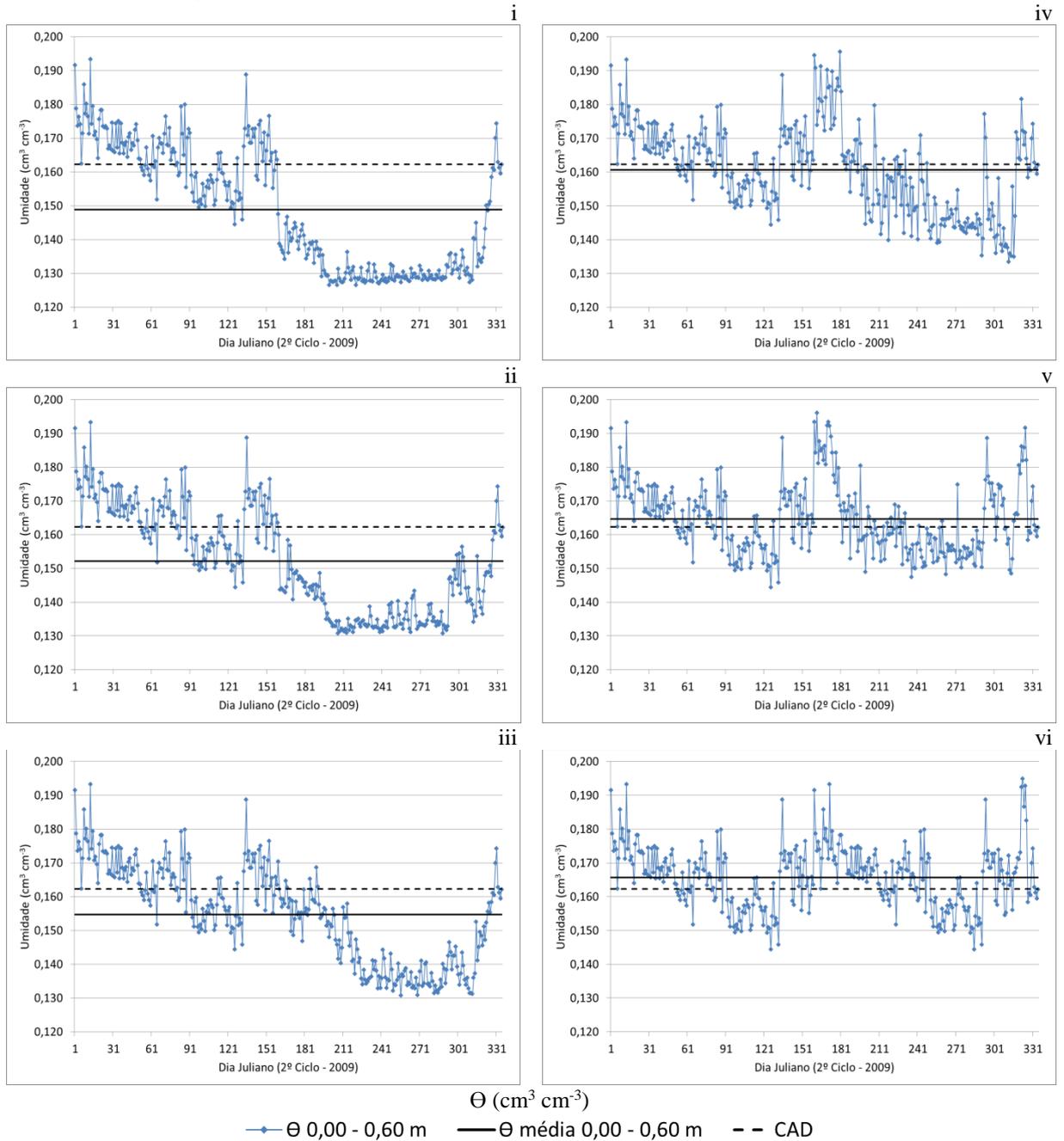


em que: i – tratamento 0,25%ETo; ii – tratamento 0,50%ETo; iii – tratamento 0,75%ETo; iv – tratamento 1,00%ETo; v – tratamento 1,25%ETo; e, vi – tratamento 1,50%ETo.

Da mesma forma que em 2008, foram apreciados os perfis de umidade do solo na camada 0,00 m – 0,60 m, por meio de uma comparação entre os valores médios de umidade (dia a dia), médio de todo o período e médio da CAD, entretanto, nesse caso, a partir do 1º dia juliano (Figura 26). Para o valor médio da CAD obtido para a camada em questão, foi de $0,1623 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os valores médios de umidade do solo considerado todo período, para os tratamentos T1, T2 e T3 foram bem maiores do que o valor médio da CAD. Já para o

tratamento T4, o valor médio de umidade do solo se manteve ligeiramente inferior ao valor médio da CAD, com uma pequena diferença de $0,0016 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, cerca de 1 %. Nos tratamentos T5 e T6, os valores médios de umidade do solo foram superiores aos dos demais tratamentos, além de ficar acima do valor médio da CAD.

Figura 26 – Distribuição de umidade do solo, média da umidade do solo e CAD na camada de 0,00 m – 0,60 m por tratamento, no ano de 2009



Diante dessas variações de umidade em relação à capacidade máxima de água disponível (CAD) no solo, as lâminas aplicadas nos tratamentos T4 (829 mm), T5 (944 mm) e T6 (1.059 mm) favoreceram perfis médios de umidade mais adequados para a cultura da goiabeira, isto é, sem restrição de umidade ou estresse hídrico prolongado na camada de 0,00 m – 0,60 m.

Em todos os tratamentos, tanto no ano de 2008 quanto 2009, os valores de umidade do solo foram maiores na profundidade de 0,50 m, levando a crer que o maior percentual de raízes encontra-se na camada de 0,00 m – 0,40 m, logo, corroborando com a decisão de tomar como profundidade efetiva das raízes da goiabeira neste estágio da cultura (2º e 3º ano) a camada de 0,00 m – 0,40 m.

5.4 Lâminas de irrigação no crescimento de plantas e na produção da goiabeira

5.4.1 Características morfológicas de crescimento de plantas da goiabeira

Para a análise do crescimento das plantas, foram realizadas duas biometrias por ciclo, isto é, duas em 2008 e duas em 2009. A primeira biometria do ano de 2008 teve como objetivo verificar o padrão fenológico único das plantas, reflexo do mesmo manejo empregado desde o plantio das mudas; e a segunda, para identificar a resposta do crescimento das plantas aos tratamentos aplicados.

No ano de 2009, a primeira biometria teve como escopo a avaliação do efeito residual da aplicação dos tratamentos relativo ao ano de 2008, tendo em vista que, por seis meses, as plantas de todos os tratamentos receberam lâminas idênticas por meio da precipitação. Por fim, dias antes da colheita do segundo ciclo (2009), realizou-se a segunda biometria.

Mediante a apreciação da análise variância dos dados da primeira biometria (Tabela 7), confirmou-se que as plantas apresentavam o mesmo padrão fenológico, ou seja, não se diferenciavam. Todas as características estudadas não mostraram diferença estatística em resposta a um mesmo manejo adotado desde o plantio das mudas de goiabeira até essa biometria. Como a primeira biometria ocorreu sempre após a poda de frutificação, as plantas não apresentavam inflorescências e frutos.

Já para as características de crescimento de plantas referentes à segunda biometria, apresentadas na Tabela 8, percebe-se que, com exceção da característica altura de plantas, todas as demais foram influenciadas significativamente pelas diferentes lâminas de

irrigação de água proveniente da piscicultura. As características: diâmetro do caule, número de ramos terciários e número de inflorescências, foram influenciados significativamente ($p < 0,05$). As demais características: diâmetros da copa (Norte, Leste e Médio) e número de frutos na planta foram significativamente influenciadas ($p < 0,01$) pelos tratamentos.

Vale ressaltar que a característica número de ramos terciários, entre as duas biometrias, apresentou decréscimo em suas médias. Isso ocorreu pelo fato de que, após a poda de frutificação (ocorrida em junho de 2008), a planta passou a emitir novos brotos, resultando em número excessivo de ramos. Daí efetuou-se uma poda de limpeza, selecionando, na oportunidade, os ramos terciários mais vigorosos e propensos à produção.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2008

FV	GL	QM							
		AP (cm)	DC (cm)	DCN (cm)	DCL (cm)	DCM (cm)	NRT (unid.)	NI (unid.)	NFP (unid.)
Bloco	3	105,79	0,04809	957,67	3032,20	1784,34	7,1667	-	-
Lâminas	5	163,56 ^{ns}	0,02466 ^{ns}	412,29 ^{ns}	1530,36 ^{ns}	838,17 ^{ns}	4,1000 ^{ns}	-	-
Resíduo	15	270,25	0,12361	654,63	914,97	365,99	6,3000	-	-
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	156,10	4,32	197,83	205,10	201,47	15,75	-	-
CV (%)	-	10,53	8,14	12,93	14,75	9,50	15,94	-	-

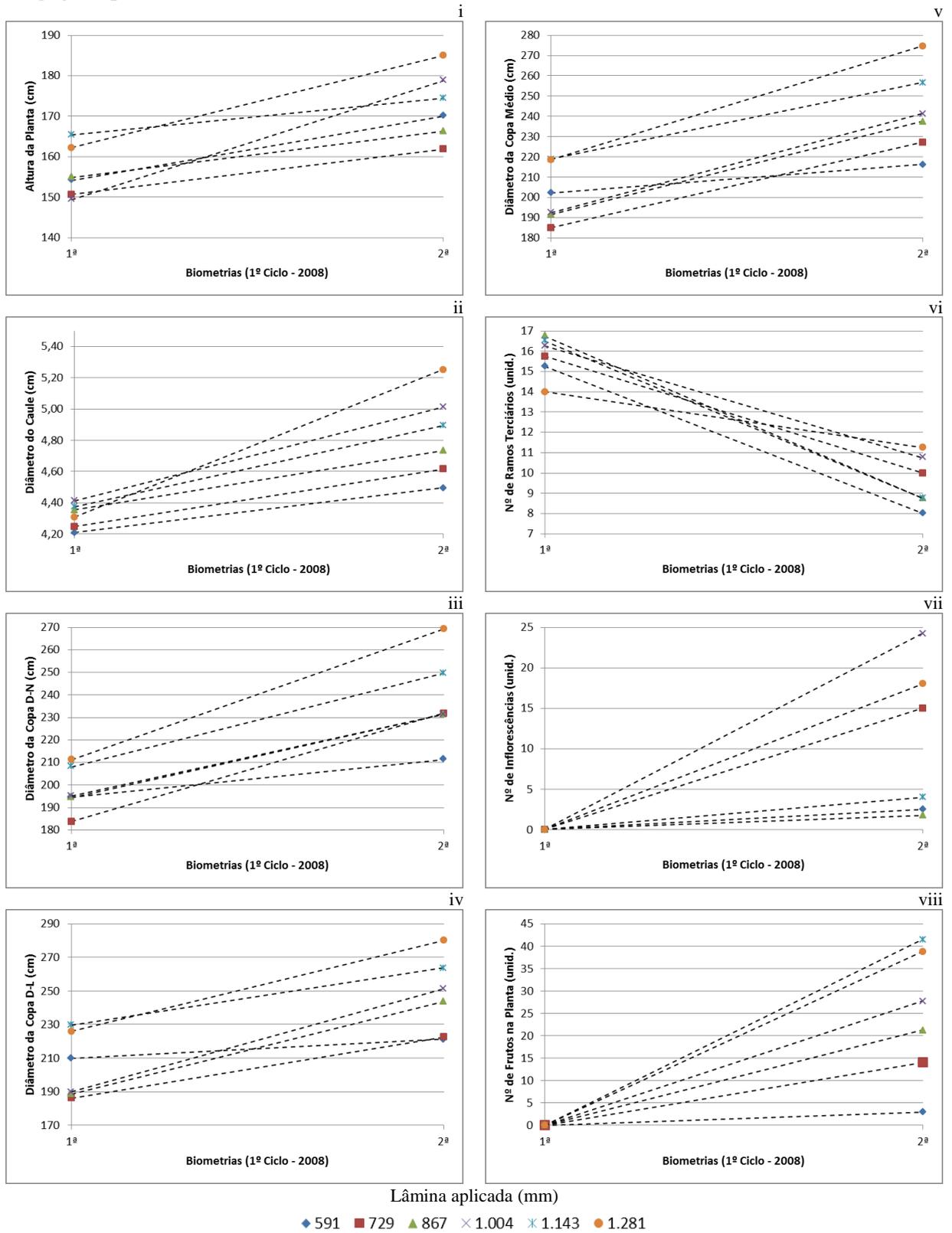
em que: AP é a Altura das Plantas; DC é o Diâmetro do Caule; DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NI é o Número de Inflorescências; NFP é o Número de Frutos na Planta; ns – não significativo.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008

FV	GL	QM							
		AP (cm)	DC (cm)	DCN (cm)	DCL (cm)	DCM (cm)	NRT (unid.)	NI (unid.)	NFP (unid.)
Bloco	3	489,24	0,30783	3139,32	2356,94	2717,22	2,3889	549,06	330,82
Lâminas	5	285,42 ^{ns}	0,30586*	1560,66**	2129,17**	1744,98**	6,5667*	357,87*	868,48**
Resíduo	15	187,78	0,09590	183,35	455,28	110,19	1,7222	116,89	104,59
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	172,71	4,83	237,40	247,08	242,24	9,58	10,92	24,38
CV (%)	-	7,93	6,41	5,70	8,64	4,33	13,69	19,04	24,96

em que: AP é a Altura das Plantas; DC é o Diâmetro do Caule; DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NI é o Número de Inflorescências; NFP é o Número de Frutos na Planta; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Figura 27 – Médias dos valores das características morfológicas da goiabeira por lâmina de irrigação aplicada, no ano de 2008



em que: i – Altura da Planta, em cm; ii – Diâmetro do Caule, em cm; iii – Diâmetro da Copa D-N, em cm; iv – Diâmetro da Copa D-L, em cm; v – Diâmetro da Copa Médio, em cm; vi – Número de Ramos Terciários, em unid.; vii – Número de Inflorescências, em unid.; e, viii – Número de Frutos na Planta, em unid.

Na Figura 27, visualizam-se as médias por tratamento nas duas biometrias realizadas no ano de 2008. Esta figura tem por objetivo favorecer uma análise visual do crescimento ou não das características morfológicas das plantas de goiabeira. Constata-se que todas as características cresceram com o tempo, exceto o número de ramos terciários.

Na Tabela 9, encontra-se o resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, na segunda biometria do ano de 2008. Dentre as sete características morfológicas influenciadas pelos tratamentos, duas delas, NRT e NI, apresentaram coeficientes de determinação (r^2) e de correlação (r) muito baixos.

Tabela 9 – Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008

Características Morfológicas	Equação	r^2	r
DC (cm) *	$y = 0,001x + 3,8862$	0,8944	0,9457
DCN (cm) **	$y = 0,071x + 170,92$	0,8617	0,9283
DCL (cm) **	$y = 0,088x + 164,72$	0,9697	0,9847
DCM (cm) **	$y = 0,0795x + 167,82$	0,9659	0,9828
NRT (unid.) *	$y = 0,003x + 6,776$	0,3652	0,6043
NI (unid.) *	$y = 0,0138x - 2,0328$	0,1426	0,3776
NFP (unid.) *	$y = 0,0554x - 27,515$	0,9434	0,9713

em que: DC é o Diâmetro do Caule; DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NI é o Número de Inflorescências; NFP é o Número de Frutos na Planta; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

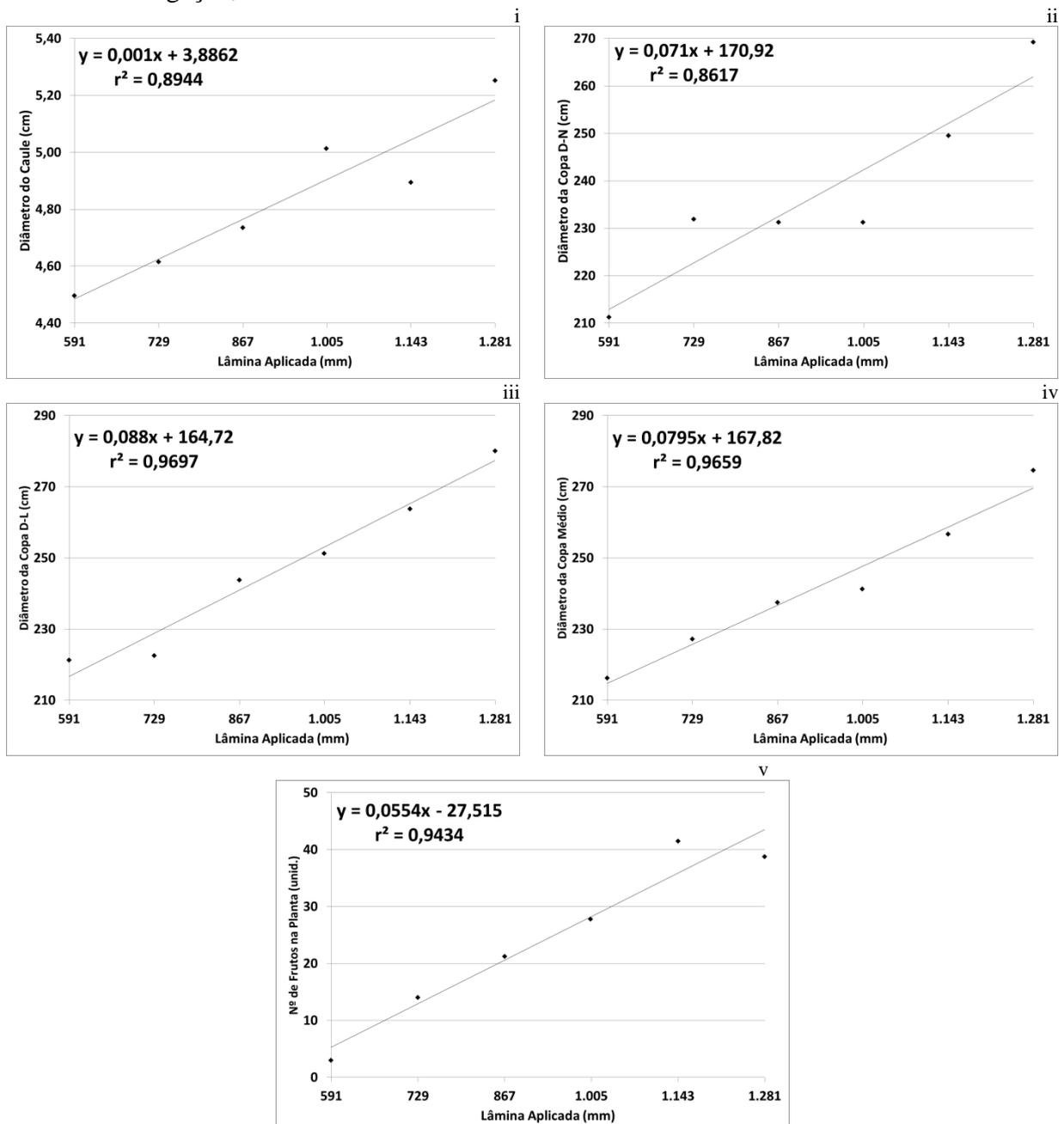
Com relação ao diâmetro do caule (Figura 28i), o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi o do tipo linear, com efeito significativo ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação de 0,8944. Observa-se que o maior valor obtido foi de 5,17 cm com a lâmina de irrigação de 1.281 mm (equivalente a 150 % da ETo) e o menor valor foi de 4,48 cm, obtido com a lâmina de irrigação equivalente a 591 mm (25 % da ETo).

Quanto à variação dos diâmetros da copa, nas direções Norte, Leste e Médio, em função das lâminas de efluente da piscicultura, nota-se que o diâmetro da copa da planta aumentou com a elevação da quantidade de água aplicada (Figuras 28i, 28ii e 28iii). O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi do tipo linear, com efeito significativo ($p < 0,01$) e coeficiente de determinação de 0,8617; 0,9697; e, 0,9659,

respectivamente. O maior diâmetro de copa (277 cm) registrado foi na direção leste, com aplicação de 1.281 mm ano⁻¹ de água proveniente da piscicultura.

Finalmente, no que tange ao número de frutos na planta, verifica-se que, assim como as demais características, o modelo que melhor se ajustou foi o linear, com efeito significativo ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação de 0,9434. O maior número de frutos na planta ocorreu na maior lâmina de irrigação com efluente da piscicultura, chegando ao número de 43 frutos para a aplicação de 1.281 mm de efluente (Figura 28v).

Figura 28 – Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2008



em que: i – Diâmetro do Caule, em cm; ii – Diâmetro da Copa D-N, em cm; iii – Diâmetro da Copa D-L, em cm; iv – Diâmetro da Copa Médio, em cm; e, v – Número de Frutos na Planta, em unid.

Resultados semelhantes foram encontrados por Simão *et al.* (2007), que, analisando o diâmetro do caule de plantas de goiabeira sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no norte de Minas Gerais, obtiveram o diâmetro máximo do caule (6,49 cm) aplicando 1.681 mm ano⁻¹ de água. Nesse mesmo estudo, os autores constataram que a lâmina de 1.296 mm foi a que propiciou o maior diâmetro da copa, com 278 cm. Esses resultados de diâmetro de copa estão próximos daqueles obtidos neste trabalho.

Serrano *et al.* (2007), ao submeter a goiabeira cultivar Paluma a dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro), não constatou diferença estatística no número de frutos por ramo nas plantas cultivadas, aos 126 dias após a poda de frutificação. Em contraposição, o estudo em questão obteve um aumento significativo do número de frutos na planta com o aumento da lâmina aplicada. Segundo Cruz *et al.* (2006), a não diferenciação no estudo supracitado foi devido ao período prologado de estresse hídrico que o tratamento de cultivo de sequeiro recebeu, favorecendo a baixa síntese de giberelinas devido à paralização e/ou redução do crescimento do sistema radicular, emitindo assim um maior número de flores, e, conseqüentemente de frutos.

Em estudo realizado na Índia, seis cultivares híbridas de goiabeira foram testadas e avaliadas em relação às características de crescimento, rendimento, e qualidade características do fruto. Dentre as cultivares estudadas, aos cinco anos de idade, os maiores valores encontrados para as características de crescimento foram: diâmetro do caule de 8,51 cm e diâmetro da copa de 268 cm (PATEL *et al.*, 2007).

Diferentemente da primeira biometria do primeiro ciclo (2008), percebe-se a influência significativa de diferentes lâminas de irrigação com efluente da piscicultura em algumas características correspondentes à primeira biometria, ocorrida no segundo ciclo. Exceção apenas para a característica altura da planta. As características diâmetro da copa na direção norte e o número de ramos terciários foram influenciadas significativamente ($p < 0,05$). As demais características: diâmetro do caule e diâmetros da copa (Leste e Médio) diferenciaram-se ($p < 0,01$), de acordo com os tratamentos aplicados (Tabela 10).

Esta diferenciação ocorreu, provavelmente, porque o efeito da aplicação do tratamento lâmina de irrigação foi acumulativo. Assim, mesmo que as plantas de todos os tratamentos tenham recebido lâminas não diferenciadas pelo efeito da água aplicada no período chuvoso, por cinco meses, o déficit hídrico aplicado no ano de 2008 (1º Ciclo) colaborou para a diferenciação das características citadas no ano de 2009, como esperado.

Assim como no primeiro ano, não foi possível a análise estatística na primeira biometria para as características número de inflorescências e número de frutos na planta, porque a biometria ocorreu sempre depois da poda de frutificação.

Por outro lado, entende-se também, que os resultados dessa análise para a primeira biometria não são totalmente seguras, haja vista a provável influência da poda das plantas no crescimento dessas características: altura da planta, diâmetros da copa, número de ramos terciários, número de inflorescências e número de frutos na planta. Dessa forma, utilizaram-se resultados da primeira biometria de ambos o ciclos tão somente para subsidiar os obtidos na segunda biometria e realizar análises visuais comparativas, como pode ser verificado na Figura 29.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009

FV	GL	QM							
		AP (cm)	DC (cm)	DCN (cm)	DCL (cm)	DCM (cm)	NRT (unid.)	NI (unid.)	NFP (unid.)
Bloco	3	76,74	0,0545	1576,74	1337,45	1232,42	5,8333	-	-
Lâminas	5	123,13 ^{ns}	0,1695 ^{**}	903,13 [*]	1193,22 ^{**}	849,65 ^{**}	13,9667 [*]	-	-
Resíduo	15	95,49	0,0328	227,99	193,16	111,69	4,1667	-	-
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	170,63	4,90	206,88	211,81	209,34	14,58	-	-
CV (%)	-	5,73	3,70	7,30	6,56	5,05	14,00	-	-

em que: AP é a Altura das Plantas; DC é o Diâmetro do Caule; DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NI é o Número de Inflorescências; NFP é o Número de Frutos na Planta; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Na Tabela 11, verifica-se que as características altura de plantas, diâmetro do caule e número de inflorescências não foram influenciadas significativamente pelas lâminas aplicadas de irrigação de efluente da piscicultura. Todas as demais foram influenciadas significativamente ($p < 0,01$) pelas lâminas de irrigação, com exceção o número de ramos terciários que foi influenciado ($p < 0,05$).

É possível identificar na Figura 29 comportamento bastante diferenciado das características quando comparadas ao ocorrido nas avaliações do ano de 2008 (Figura 27). Os tratamentos, mesmo os que não apresentaram diferença estatística significativa, apresentam diferenças visuais nas médias por tratamento, que provavelmente é reflexo do efeito residual da aplicação dos tratamentos no ano de 2008.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009

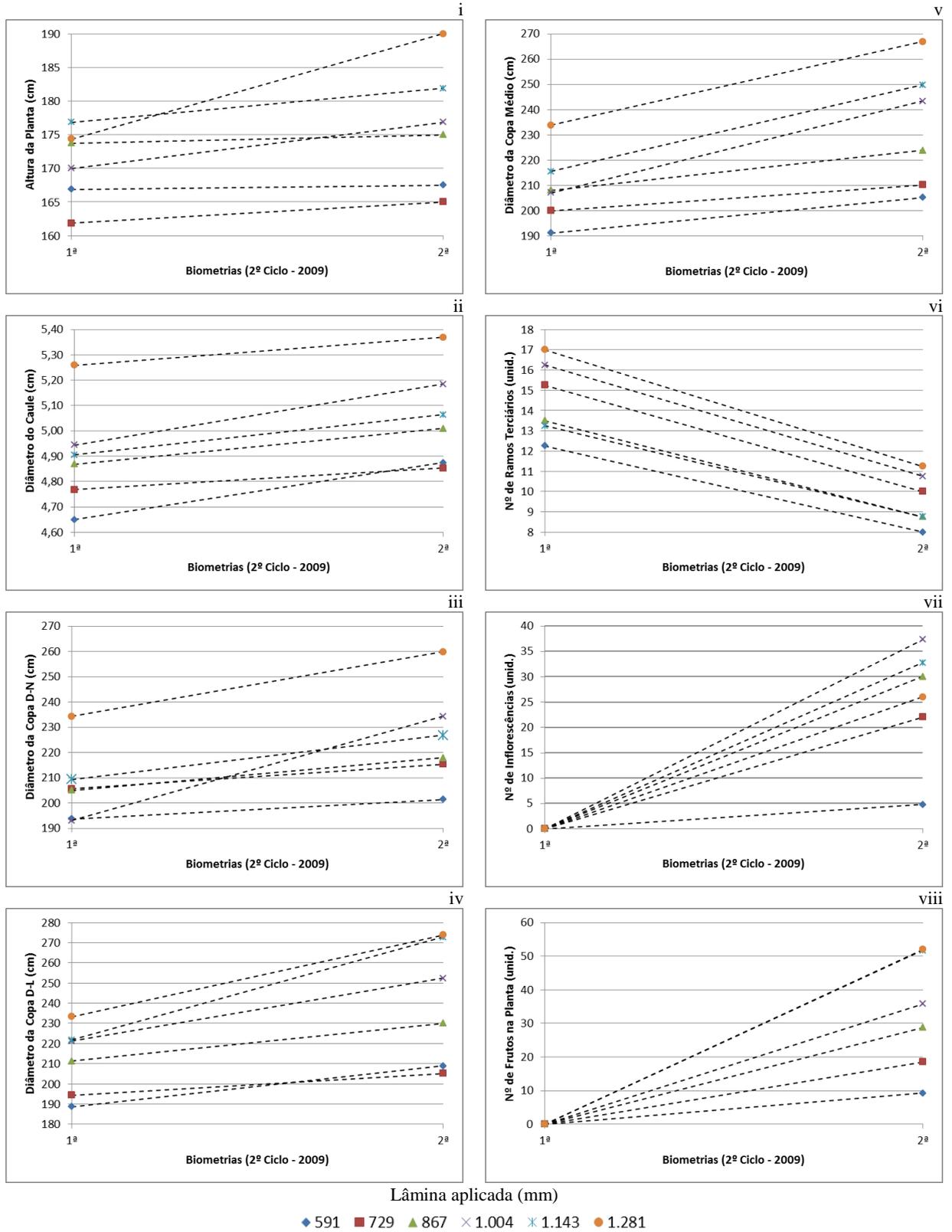
FV	GL	QM							
		AP (cm)	DC (cm)	DCN (cm)	DCL (cm)	DCM (cm)	NRT (unid.)	NI (unid.)	NFP (unid.)
Bloco	3	314,24	0,1154	2438,29	7592,62	4651,74	2,3889	254,67	412,56
Lâminas	5	340,42 ^{ns}	0,1521 ^{ns}	1602,97**	3719,09**	2328,56**	6,5667*	461,77 ^{ns}	1209,47**
Resíduo	15	155,28	0,1633	272,78	276,00	155,53	1,7222	310,70	167,36
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	176,04	5,06	225,96	240,52	233,24	9,58	24,83	32,67
CV (%)	-	7,08	7,99	7,31	6,91	5,35	13,69	37,98	19,60

em que: AP é a Altura das Plantas; DC é o Diâmetro do Caule; DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NI é o Número de Inflorescências; NFP é o Número de Frutos na Planta; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Os resultados encontrados na análise estatística da segunda biometria do segundo ciclo são muito próximos aos encontrados para esta mesma biometria, do ano anterior. A única característica que obteve incrementos em sua média total a cada biometria foi o diâmetro do caule, saindo de 4,32 cm para 5,06 cm, totalizando um incremento total de 0,74 cm em 18 meses de avaliação.

Na Tabela 12, consta o resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, na primeira biometria do ano de 2009. Dentre as cinco características com diferença estatística significativa, duas delas apresentaram coeficientes de determinação (r^2) e de correlação (r) muito baixos.

Figura 29 – Médias dos valores das características morfológicas da goiabeira por lâmina de irrigação aplicada, no ano de 2009



em que: i – Altura da Planta, em cm; ii – Diâmetro do Caule, em cm; iii – Diâmetro da Copa D-N, em cm; iv – Diâmetro da Copa D-L, em cm; v – Diâmetro da Copa Médio, em cm; vi – Número de Ramos Terciários, em unid.; vii – Número de Inflorescências, em unid.; e, viii – Número de Frutos na Planta, em unid.

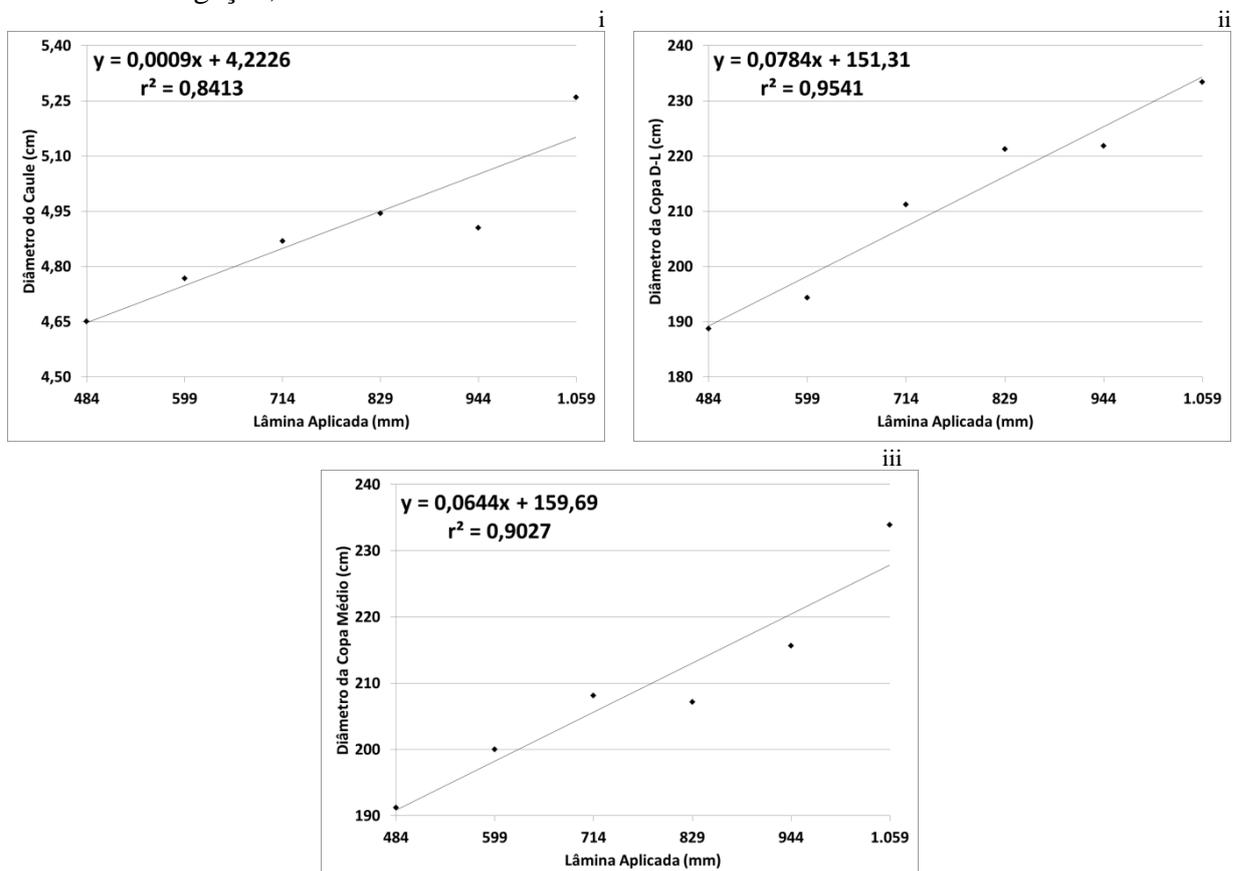
Tabela 12 – Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009

Características Morfológicas	Equação	r ²	r
DC (cm) **	$y = 0,0009x + 4,2226$	0,8413	0,9172
DCN (cm) *	$y = 0,0503x + 168,06$	0,5189	0,7203
DCL (cm) **	$y = 0,0784x + 151,31$	0,9541	0,9768
DCM (cm) **	$y = 0,0644x + 159,69$	0,9027	0,9501
NRT (unid.) *	$y = 0,0051x + 10,654$	0,3439	0,5864

em que: DC – Diâmetro do Caule; DCN – Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL – Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM – Diâmetro da Copa Médio; NRT – Número de Ramos Terciários; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Pelo diâmetro do caule (Figura 30i), conclui-se que o modelo que melhor se ajustou foi o linear, com efeito significativo ($p < 0,01$) e coeficiente de determinação de 0,8413. O maior diâmetro do caule se deu com a aplicação da maior lâmina de irrigação com efluente da piscicultura, chegando a 5,18 cm para a aplicação de 1.059 mm.

Figura 30 – Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 1ª biometria do ano de 2009



em que: i – Diâmetro do Caule, em cm; ii – Diâmetro da Copa D-L, em cm; e, iii – Diâmetro da Copa Médio, em cm.

Com relação à variação dos diâmetros da copa, nas direções leste e médio, em função das lâminas de efluente da piscicultura, nota-se que o diâmetro da copa da planta aumentou com a lâmina de efluente aplicada. (Figuras 30ii e 30iii). O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados também foi o linear, com efeito significativo ($p < 0,01$) e coeficiente de determinação de 0,9541 e 0,9027, respectivamente. A lâmina que proporcionou o maior diâmetro da copa (234 cm) foi o diâmetro da copa na direção leste, com $1.059 \text{ mm ano}^{-1}$.

O resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, da 2ª biometria do ano de 2009, pode ser visualizado na Tabela 13. Das cinco características que apresentaram diferença estatística significativa, apenas a NRT apresentou coeficientes de determinação (r^2) e de correlação (r) muito baixo, sendo assim descartada da análise detalhada.

Tabela 13 – Resumo das análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009

Características Morfológicas	Equação	r^2	r
DCN (cm) **	$y = 0,0853x + 160,12$	0,8412	0,9172
DCL (cm) **	$y = 0,1366x + 135,17$	0,9283	0,9635
DCM (cm) **	$y = 0,1109x + 147,64$	0,9787	0,9893
NRT (unid.) *	$y = 0,0036x + 6,804$	0,3659	0,6049
NFP (unid.) **	$y = 0,0796x - 28,766$	0,9706	0,9852

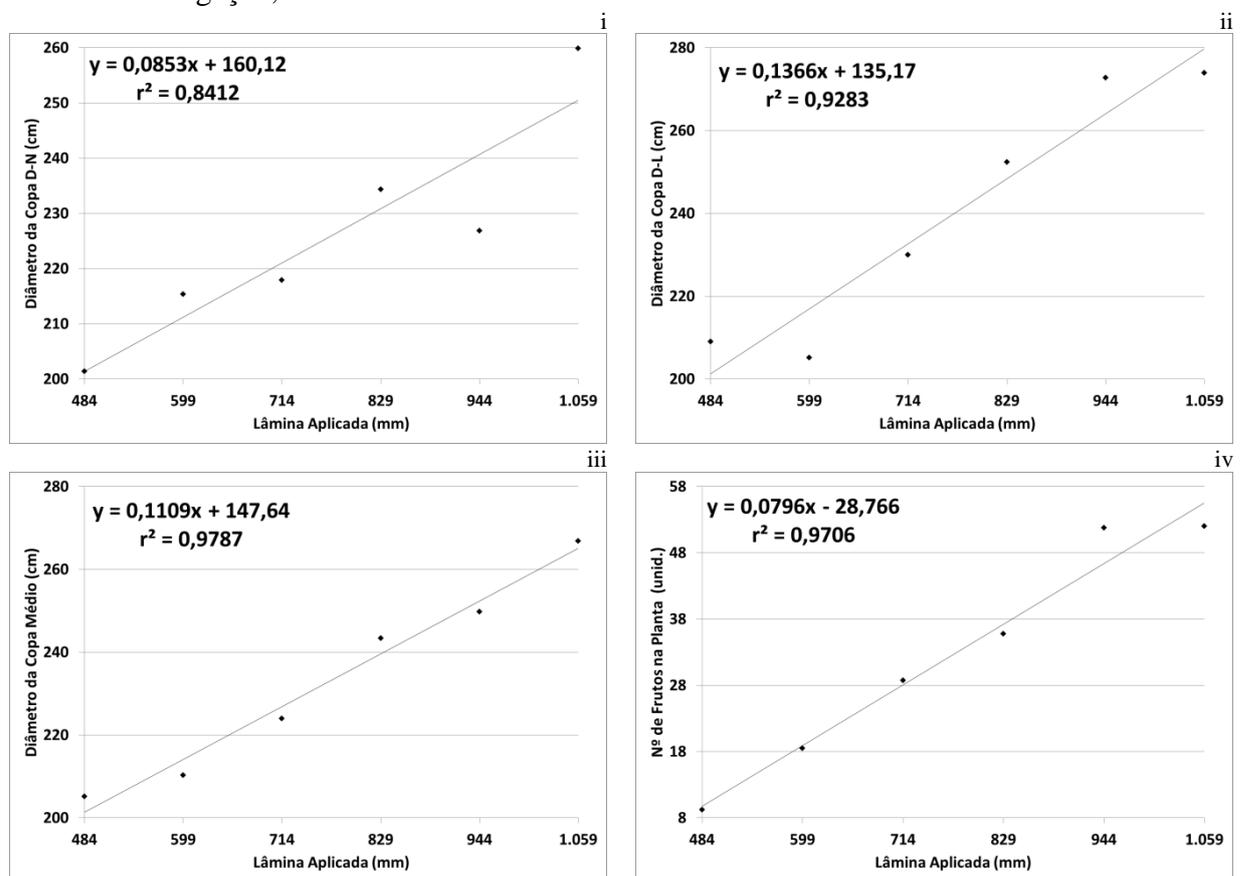
em que: DCN é o Diâmetro da Copa na Direção Norte; DCL é o Diâmetro da Copa na Direção Leste; DCM é o Diâmetro da Copa Médio; NRT é o Número de Ramos Terciários; NFP é o Número de Frutos na Planta; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Verificando as demais análises de regressão, as características DCN, DCS, DCM e NFP, na 2ª Biometria do 2º Ciclo, ajustaram-se ao modelo matemático linear, com efeito significativo ($p < 0,01$) e coeficientes de determinação de 0,8412; 0,9283; 0,9787; e, 0,9706, respectivamente. A lâmina de irrigação que propiciou o maior diâmetro da copa (280 cm) foi o diâmetro da copa na direção leste, com $1.059 \text{ mm ano}^{-1}$. Essa mesma lâmina de irrigação proporcionou o maior número de frutos na planta, aproximadamente 56 frutos.

Para as características morfológicas das plantas, ficou claro que, tanto no 1º quanto no 2º ciclo, as lâminas de irrigação testadas influenciaram significativamente no

incremento das características. Assim, considerando que a produção da goiabeira está diretamente relacionada com suas características morfológicas, é provável que as análises das características de produção também apresentem incrementos com o aumento da lâmina de irrigação aplicada. Nesse mesmo sentido, segundo Manica *et al.* (2000), a indisponibilidade de água no solo, principalmente em épocas de intenso crescimento vegetativo, pode provocar redução do desenvolvimento da cobertura vegetal, intensa queda de flores e menor tamanho dos frutos, resultando, assim, em menor produção.

Figura 31 – Análises de regressão das características morfológicas da goiabeira em função das lâminas de irrigação, 2ª biometria do ano de 2009



em que: i – Diâmetro da Copa D-N, em cm; ii – Diâmetro da Copa D-L, em cm; iii – Diâmetro da Copa Médio, em cm; e, iv – Número de Frutos na Planta, em unid.

5.4.2 Características de produção da goiabeira

Na Tabela 14, consta o resultado da análise de variância das características de produção da goiabeira no 1º Ciclo de Cultivo, dentre elas: nº de frutos por planta; produtividade por planta; comprimento do fruto; diâmetro do fruto; espessura de casca; diâmetro de polpa; peso médio dos frutos; produtividade; e, eficiência de uso de água.

Tabela 14 – Resumo da análise de variância das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008

FV	GL	QM								
		NFP (unid.)	PPP (kg planta ⁻¹)	CF (cm)	DF (cm)	EC (cm)	DP (cm)	PMF (g)	P (kg ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
Bloco	3	8955,75	21,8785	0,5987	0,5034	0,0017	0,3916	695,89	1789577,13	0,01434
Lâminas	5	8033,61**	141,8319**	2,7684**	2,0657**	0,0898**	0,8353**	1396,98*	11601283,94**	0,06234**
Resíduo	15	968,13	15,2737	0,1270	0,1065	0,0015	0,0931	443,53	1249328,73	0,01088
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	74,41	9,30	5,08	4,82	0,9314	3,00	119,51	2660,05	0,25715
CV (%)	-	21,76	22,02	7,02	6,77	4,10	10,18	17,62	22,02	20,55

em que: NFP é o N° de Frutos por Planta; PPP é a Produtividade por Planta; CF é o Comprimento do Fruto; DF é o Diâmetro do Fruto; EC é a Espessura de Casca; DP é o Diâmetro de Polpa; PMF é o Peso Médio dos Frutos; P é a Produtividade; EUA é a Eficiência de Uso de Água; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Pela análise de variância (Tabela 14), percebe-se a influência significativa ($p < 0,01$) da lâmina de irrigação de efluente da piscicultura em todas as características estudadas; com exceção do peso médio dos frutos, influenciado significativamente ($p < 0,05$) pelos tratamentos.

Visualiza-se na Tabela 15, o resumo das análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008. As nove características estudadas apresentaram o modelo matemático linear como o mais ajustado. Os valores dos coeficientes de determinação variaram desde 0,7673, para a característica peso médio dos frutos, até 0,9875, para a característica peso médio do fruto e produtividade. Por sua vez, o coeficiente de correlação, em todas as características de produção da goiabeira, foram superiores a 0,87.

Tabela 15 – Resumo das análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008

Características de Produção	Equação	r^2	r
NFP (unid.) **	$y = 0,1685x - 83,214$	0,9424	0,9708
PPP (kg planta ⁻¹) **	$y = 0,0229x - 12,152$	0,9875	0,9937
CF (cm) **	$y = 0,0031x + 2,1532$	0,9412	0,9702
DF (cm) **	$y = 0,0027x + 2,2815$	0,9468	0,9730
EC (cm) **	$y = 0,0006x + 0,4016$	0,9515	0,9754
DP (cm) **	$y = 0,0016x + 1,4547$	0,8668	0,9310
PMF (kg)*	$y = 0,0634x + 60,159$	0,7673	0,8760
P (kg ha ⁻¹)**	$y = 6,5563x - 3475,6$	0,9875	0,9937
EUA (kg m ⁻³)**	$y = 0,0005x - 0,1702$	0,8914	0,9441

em que: NFP é o N° de Frutos por Planta; PPP é a Produtividade por Planta; CF é o Comprimento do Fruto; DF é o Diâmetro do Fruto; EC é a Espessura de Casca; DP é o Diâmetro de Polpa; PMF é o Peso Médio dos Frutos; P é a Produtividade; EUA é a Eficiência de Uso de Água; e, ** significância à 1,0 %.

Analisando a Figura 32, verifica-se o crescimento linear de todas as características de produção com o incremento de lâmina de irrigação de efluente da piscicultura aplicada. Na Figura 32i, a maior lâmina de irrigação (1.281 mm) favoreceu o maior número de frutos por planta (133 frutos). Quando comparada à menor lâmina aplicada (591 mm), identifica-se um

incremento no número de frutos para a maior lâmina de 117 frutos, logo, superior em 831 %.

A característica produtividade por planta conferiu a mesma tendência de crescimento linear com o incremento da aplicação de lâminas de irrigação do efluente da piscicultura. Enquanto a menor lâmina resultou em um peso de 1,38 kg planta⁻¹, a maior possibilitou um peso de 17,18 kg planta⁻¹, gerando um acréscimo de aproximadamente 16 kg planta⁻¹, superior em mais de 1.000 %.

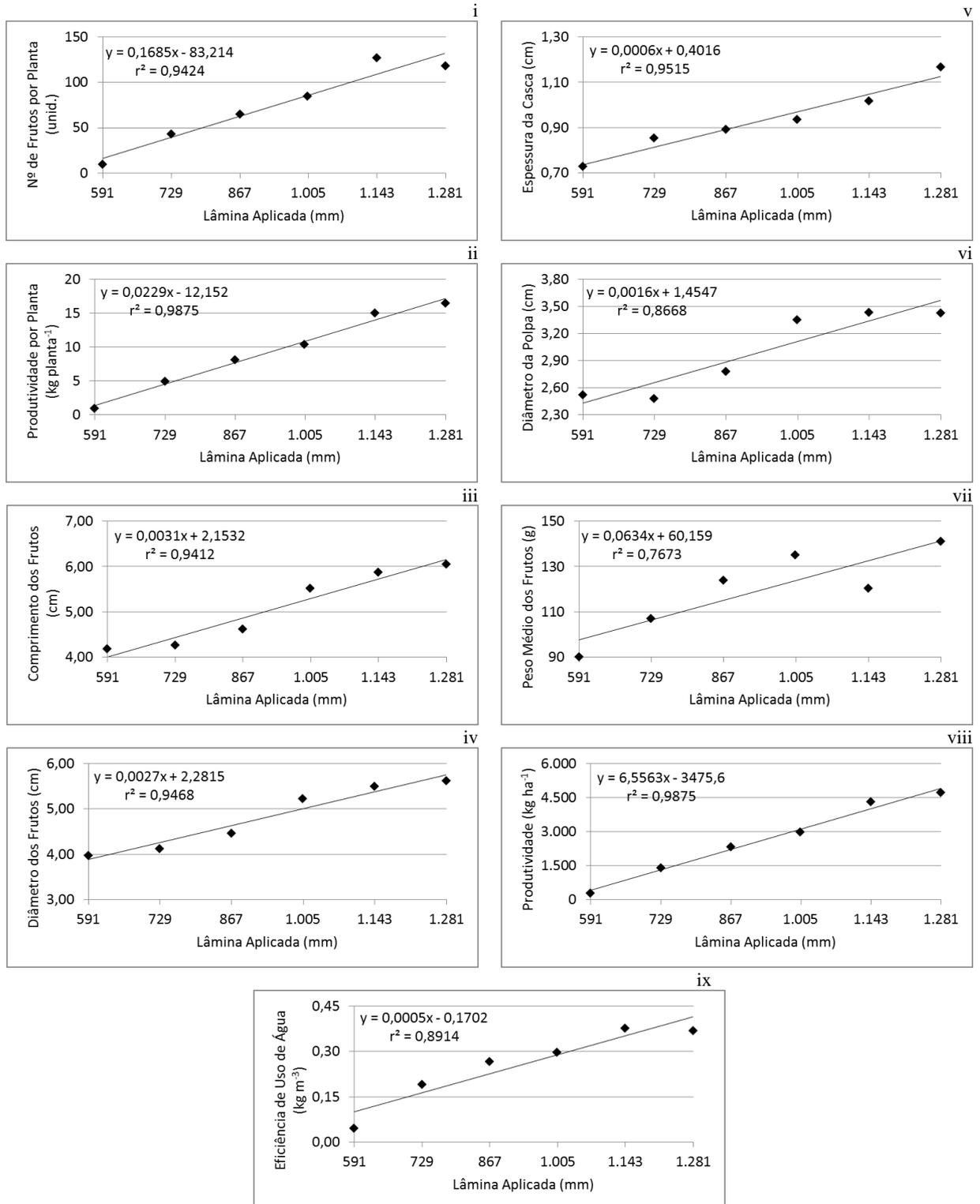
As características morfológicas dos frutos: comprimento do fruto, diâmetro do fruto, espessura da casca e diâmetro da polpa, seguiram a mesma tendência linear, culminando em crescimento de valores com o incremento das lâminas de irrigação. Os valores máximos encontrados para esta características foram de: CF = 6,12 cm, DF = 5,74 cm, EC = 1,17 cm, e, DP = 3,50 cm, respectivamente, sendo superiores em pelo menos 146 % quando a lâmina aplicada foi a de 591 mm.

O maior valor obtido para a característica peso médio dos frutos foi de 141,37 g com a aplicação da lâmina de irrigação de 1.281 mm. Para essa mesma característica, com a aplicação da menor lâmina aplicada (591 mm), chegou-se a 97,63 g.

Pela Figura 32viii, pode-se verificar aumentos lineares de produtividade da goiabeira em função do aumento das lâminas aplicadas. A produtividade da goiabeira chegou a 4.923 kg ha⁻¹ (1º Ciclo de produção) com a aplicação de 1.281 mm de efluente da piscicultura, apresentando efeito significativo ($p < 0,01$) e coeficiente de determinação de 0,9875. A menor produtividade (400 kg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da menor lâmina (591 mm). O incremento da produtividade desde a menor lâmina até a maior foi de mais de 4.500 kg ha⁻¹.

A eficiência de uso de água, obtida na análise, chegou a 0,47 kg de goiaba por m³ de água, com a aplicação da maior lâmina de irrigação. A tendência de crescimento da eficiência do uso da água foi linear, logo, a menor lâmina aplicada favoreceu uma menor eficiência. Essa característica correlaciona a produtividade da cultura e a quantidade de lâmina aplicada para que a cultura obtenha a produtividade alcançada, sendo assim, de fundamental importância para realização de análises financeiras e econômicas.

Figura 32 – Análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 1º Ciclo de Produção, ano de 2008



em que: i – N° de Frutos por Planta, em unidades; ii – Produtividade por Planta, em kg planta⁻¹; iii - Comprimento do Fruto, em cm; iv – Diâmetro do Fruto, em cm; v – Espessura da Casca, em cm; vi – Diâmetro da Polpa, em cm; vii – Peso médio dos frutos, em g; viii – Produtividade, em kg ha⁻¹; e, ix – Eficiência do Uso da Água, em kg m⁻³.

Verifica-se, pela análise de variância, (Tabela 16), que, todas as características estudadas no 2º Ciclo foram influenciadas significativamente ($p < 0,01$) pelos tratamentos de lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, acompanhando assim a mesma tendência verificada no 1º Ciclo, com exceção do peso médio dos frutos que foi influenciado significativamente ($p < 0,05$).

Pela Tabela 17, é possível observar que, assim como no 1º Ciclo, as nove características estudadas se ajustaram melhor ao modelo matemático linear. Os valores dos coeficientes de determinação variaram desde 0,7901, para a característica peso médio dos frutos, até 0,9831, para a característica comprimento do fruto. Já o coeficiente de correlação, em todas as características de produção da goiabeira, foram superiores a 0,88.

Analisando a Figura 33, observa-se o crescimento linear de todas as características de produção com o incremento de lâmina de irrigação de efluente da piscicultura aplicada. Na Figura 33i, a maior lâmina de irrigação (1.059 mm) favoreceu o maior número de frutos por planta (159 frutos). Quando comparada à menor lâmina aplicada (484 mm), identifica-se um incremento no número de frutos para a maior lâmina de 117 frutos, logo, superior em 548 %.

A característica produtividade por planta conferiu a mesma tendência de crescimento linear com o incremento da aplicação de lâminas de irrigação do efluente da piscicultura. Enquanto a menor lâmina resultou em um peso de 2,58 kg planta⁻¹, a maior possibilitou um peso de 22,88 kg planta⁻¹, gerando um incremento de aproximadamente 20 kg planta⁻¹, superior em 887 %.

As características morfológicas dos frutos: comprimento do fruto, diâmetro do fruto, espessura da casca e diâmetro da polpa, seguiram a mesma tendência linear, culminando em crescimento de valores com o incremento das lâminas de irrigação. Os valores máximos encontrados para essas características foram de: CF = 7,57 cm, DF = 7,07 cm, EC = 1,38 cm, e, DP = 4,39 cm, respectivamente, sendo superiores em pelo menos 160 % quando a lâmina aplicada foi a de 484 mm.

O valor máximo encontrado para a característica peso médio dos frutos foi de 153,16 g com a aplicação da lâmina de irrigação de 1.059 mm. Para essa mesma característica, com a aplicação da menor lâmina aplicada (484 mm), chegou-se a 104,81 g.

Tabela 16 – Resumo da análise de variância das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009

FV	GL	QM								
		NFP (unid.)	PPP (kg planta ⁻¹)	CF (cm)	DF (cm)	EC (cm)	DP (cm)	PMF (g)	P (kg ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
Bloco	3	3336,61	35,2859	0,7371	0,5986	0,0032	0,4784	426,26	2886248	0,02993
Lâminas	5	9681,22**	253,9044**	5,0921**	4,0156**	0,1593**	1,6862**	1658,42*	20768363**	0,14295**
Resíduo	15	1371,42	27,9062	0,0832	0,0771	0,0024	0,0606	411,53	2282614	0,02862
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	93,77	12,71	6,08	5,7551	1,1181	3,5729	129,01	3.635,32	0,43169
CV (%)	-	19,49	21,56	4,75	4,82	4,34	6,89	15,73	21,56	19,19

em que: NFP é o N° de Frutos por Planta; PPP é a Produtividade por Planta; CF é o Comprimento do Fruto; DF é o Diâmetro do Fruto; EC é a Espessura de Casca; DP é o Diâmetro de Polpa; PMF é o Peso Médio dos Frutos; P é a Produtividade; EUA é a Eficiência de Uso de Água; ns – não significativo; * significância à 5,0 %; ** significância à 1,0 %.

Tabela 17 – Resumo das análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009

Características de Produção	Equação	r ²	r
NFP (unid.) **	$y = 0,2253x - 80,032$	0,9705	0,9851
PPP (kg planta ⁻¹) **	$y = 0,0353x - 14,506$	0,9075	0,9526
CF (cm) **	$y = 0,0052x + 2,0659$	0,9831	0,9915
DF (cm) **	$y = 0,0046x + 2,1981$	0,9801	0,9900
EC (cm) **	$y = 0,0009x + 0,4242$	0,9402	0,9696
DP (cm) **	$y = 0,0029x + 1,3153$	0,9402	0,9696
PMF (kg)*	$y = 0,0841x + 64,102$	0,7901	0,8889
P (kg ha ⁻¹)**	$y = 10,09x - 4148,8$	0,9075	0,9526
EUA (kg m ⁻³)**	$y = 0,0008x - 0,178$	0,8090	0,8994

em que: NFP é o N° de Frutos por Planta; PPP é a Produtividade por Planta; CF é o Comprimento do Fruto; DF é o Diâmetro do Fruto; EC é a Espessura de Casca; DP é o Diâmetro de Polpa; PMF é o Peso Médio dos Frutos; P é a Produtividade; EUA é a Eficiência de Uso de Água; * significância à 5,0 %; e, ** significância à 1,0 %.

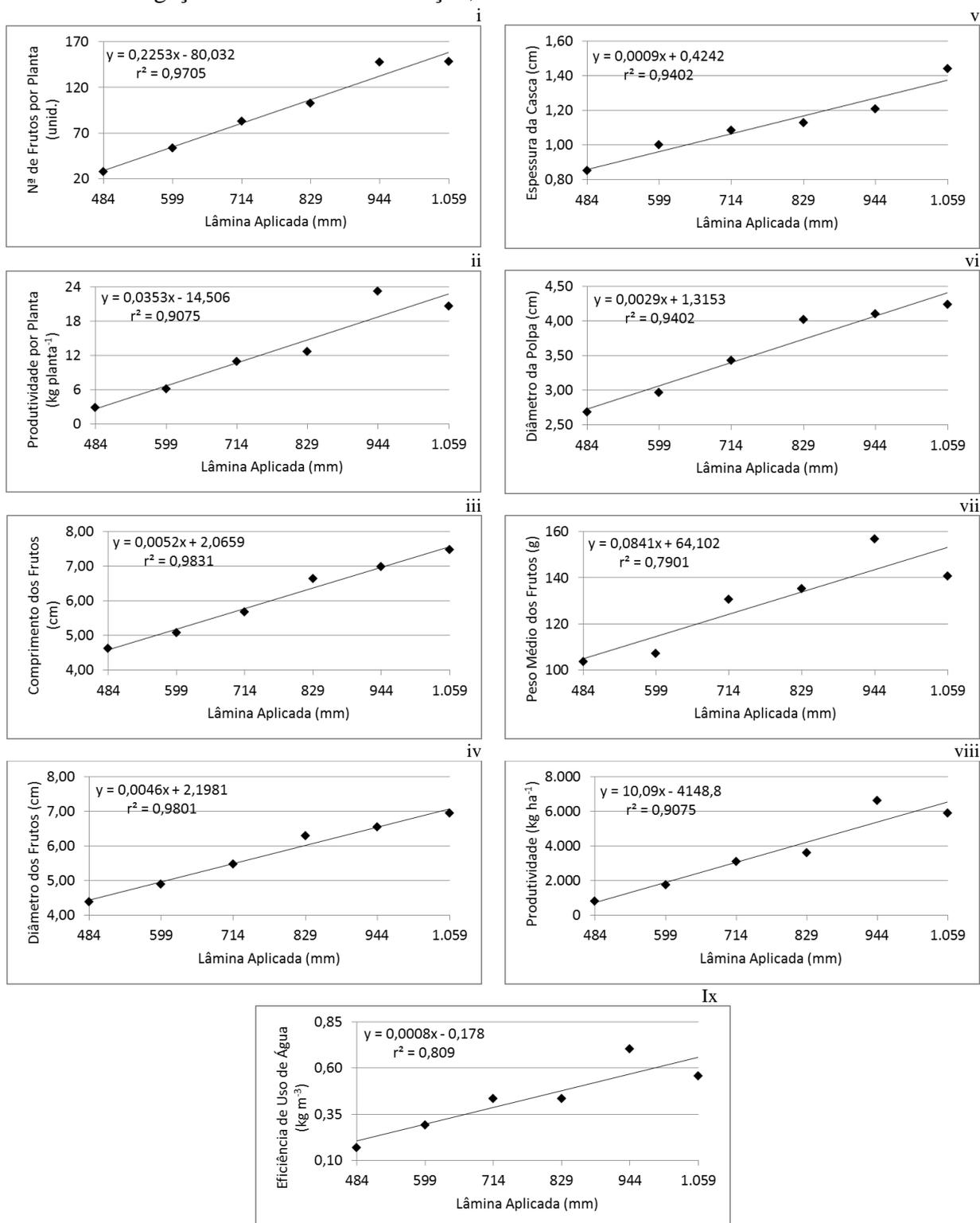
Analisando a Figura 33viii, verificaram-se aumentos lineares de produtividade da goiabeira em função do aumento das lâminas aplicadas. A produtividade da goiabeira chegou a 6.537 kg ha⁻¹ (2º Ciclo de produção) com a aplicação de 1.059 mm de efluente da piscicultura, apresentando efeito significativo ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação de 0,9075. A menor produtividade foi encontrada na menor lâmina, com aproximadamente 735 kg ha⁻¹. O incremento da produtividade desde a menor lâmina até a maior foi de mais de 5.802 kg ha⁻¹.

A eficiência de uso de água obtida na análise chegou a 0,67 kg de goiaba por m³ de água, com a aplicação da maior lâmina de irrigação. A tendência de crescimento da eficiência do uso da água foi linear, logo, a menor lâmina aplicada favoreceu uma menor eficiência. Essa característica correlaciona a produtividade da cultura e o volume de água aplicado para que a cultura obtenha a produtividade alcançada, sendo assim, de fundamental importância para realização de análises financeiras e econômicas.

Comparando os resultados de produção encontrados nos dois ciclos, encontra-se uma redução nos valores das diferenças entre a aplicação da menor e da maior lâmina de irrigação para praticamente todas as características. Isso não significa dizer que o efeito da

lâmina foi menos efetivo, e, sim, que houve uma resposta fisiológica da planta em função de seu novo estágio de desenvolvimento.

Figura 33 – Análises de regressão das características de produção da goiabeira em função das lâminas de irrigação no 2º Ciclo de Produção, ano de 2009



em que: i – N° de Frutos por Planta, em unidades; ii – Produtividade por Planta, em kg planta⁻¹; iii - Comprimento do Fruto, em cm; iv – Diâmetro do Fruto, em cm; v – Espessura da Casca, em cm; vi –Diâmetro da Polpa, em cm; vii – Peso médio dos frutos, em g; viii – Produtividade, em kg ha⁻¹; e, ix – Eficiência do Uso da Água, em kg m⁻³.

O fruto da goiabeira “cultivar Paluma” apresenta as seguintes características morfológicas: comprimento variando de 8,0 a 10,0 cm e diâmetro de 7,0 a 9,0 cm, forma ovóide de pescoço curto, espessura de casca de 1,3 a 2,0 cm, e peso médio dos frutos variado de 140 a 250 g. De acordo com os resultados do 1º Ciclo, a maior parte das características avaliadas ficaram aquém dos limites citados, com exceção ao peso médio dos frutos, que, na maior lâmina aplicada, chegou a 141 g. Isso pode ser explicado pelo fato das plantas avaliadas ainda encontrarem-se no estágio de desenvolvimento vegetativo, momento em que a cultura não apresenta todo seu potencial produtivo. Corroborando com o exposto, nota-se que, para o 2º Ciclo, a situação se inverte, pois praticamente todas as características de maior aplicação de lâmina encontram-se dentro dos intervalos característicos da cultivar Paluma, exceção à regra apenas para a característica comprimento do fruto.

Resultados inferiores foram encontrados por Simão *et al.* (2007), em que, analisando o número de frutos por planta da goiabeira sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no norte de Minas Gerais, obtiveram o número máximo de 86 frutos por planta com a aplicação de 1.681 mm de água, durante todo um ano de cultivo. Os resultados obtidos neste trabalho foram consideravelmente superiores, pois as plantas do estudo citado já se encontravam no estágio de desenvolvimento de maturação, e, para um número inferior de frutos, foi necessário uma aplicação de aproximadamente 400 mm, quando comparado ao 1º Ciclo, e 622 mm a mais, quando comparado ao 2º Ciclo.

Uma semelhança muito grande entre os resultados (1º e 2º Ciclos) pôde ser observada em estudo realizado na Índia, onde seis cultivares híbridas de goiabeira foram testadas e avaliadas em relação ao seu crescimento, rendimento e características dos frutos. As plantas contavam cinco anos de idade, logo, estavam em pleno estágio de maturação. Dentre as cultivares estudadas, os maiores valores encontrados para as características de produção foram: produtividade por planta de 18,50 kg planta⁻¹, comprimento do fruto de 6,56 cm, diâmetro do fruto de 6,91 cm, e, peso médio do fruto de 152,50 g (PATEL *et al.*, 2007).

Em estudo sobre a caracterização de frutos de goiabeira e seleção de frutos na região do submédio São Francisco, observou-se as seguintes características médias para a cultivar Paluma irrigada: peso médio dos frutos de 104,8 g, comprimento do fruto de 6,29 cm e diâmetro do fruto de 5,57 cm (LIMA; ASSIS; GONZAGA NETO, 2002). O valor de peso médio dos frutos no estudo ora apresentado, de 141,4 g (1º Ciclo) e 153,16 g (2º Ciclo) foram superiores em aproximadamente 35 e 46 %, ao supracitado, para a mesma cultivar e clima similar.

A goiabeira cultivar Paluma submetida a dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) apresentou os seguintes resultados: 1 - os frutos de maiores comprimentos e diâmetros foram produzidos pelas plantas irrigadas; e, 2 - os frutos produzidos pelas plantas em sequeiro eram mais arredondados do que aqueles de plantas irrigadas, comprovado pela razão entre o comprimento e o diâmetro de 1,16 e 1,24, respectivamente para cultivo de sequeiro e irrigado. A média geral para o tamanho dos frutos foi de 8,22 cm de comprimento e 6,84 cm de diâmetro (SERRANO *et al.*, 2007). As dimensões dos frutos encontradas no estudo citado foram superiores aos obtidos nesta pesquisa, somente para o 1º Ciclo, em 34 % para o comprimento do fruto e 19 % para o diâmetro do fruto.

Babu, Singh e Yadav (2007), estudando as características de produção e de qualidade do fruto da goiabeira, com plantas de sete anos de idade, e dois tipos de cultivares, obtiveram os seguintes melhores resultados: produtividade por planta de 22,50 kg planta⁻¹ e peso médio do fruto de 151,50 g. Esses resultados foram inferiores aos encontrados no 2º Ciclo da pesquisa ora apresentada.

De acordo com Gonzaga Neto (1990), a goiabeira cultivada com irrigação e com poda, além de apresentar níveis de produtividade elevados (40 a 50 t ha⁻¹), produz durante todo o ano. Entretanto, a maior parte dos estudos científicos levantados na revisão bibliográfica avalia a cultura ainda no seu estágio de desenvolvimento vegetativo, momento em que não apresenta todo seu potencial produtivo, como é o caso do estudo em questão.

Mandal *et al.* (2007) testaram o efeito de dois sistemas de irrigação, por inundação e gotejamento, na cultura da goiabeira. Obtiveram resultados em que a irrigação por gotejamento foi superior à inundação, antecipando de quatro para três anos o início da produção. Além disso, as plantas irrigadas por gotejamento, em espaçamento de 6 x 6 m, produziram 15,0 t ha⁻¹, enquanto que as irrigadas por inundação produziram 8,3 t ha⁻¹, no mesmo espaçamento. Mesmo com sistema de irrigação localizado por microaspersão, este estudo chegou a apenas metade da produtividade encontrada pelos autores acima utilizando o sistema de irrigação por inundação. Isso se deve, provavelmente, ao estágio de desenvolvimento das plantas. No presente trabalho, as plantas ainda estavam em pleno crescimento vegetativo.

Pesquisa realizada em Petrolina-PE com a cultura da goiabeira cultivar Paluma, irrigada por microaspersão, aplicando uma lâmina de 614 mm, obteve os seguintes valores médios de produção: 623 frutos por planta, peso médio do fruto de 116 g (variando de 78 a 169 g), produtividade por planta de 72 kg, e, uma produtividade de 24.097 kg ha⁻¹ (FERREIRA, 2004). Todas essas características, com exceção do peso médio do fruto, foram

superiores ao encontrado neste estudo. Entretanto, vale ressaltar que o autor trabalhava com plantas com quatro anos de idade, todavia madura produtivamente.

Bassoi *et al.* (2002), examinando os parâmetros para o manejo de irrigação na goiabeira, no Vale do São Francisco, obtiveram produtividades de 1.689 kg ha⁻¹ com a aplicação de 1.166 mm e 17.548 kg ha⁻¹ com a aplicação de 766 mm, respectivamente para o 1º e 2º ciclos produtivos da goiabeira. Os resultados obtidos no estudo em questão foram superiores quando se analisa o 1º ciclo, e, inferiores para o 2º ciclo. O menor valor de produtividade se deve, provavelmente, ao fato de que, no estudo citado, foi possível se obter duas produções no 2º ciclo, enquanto que neste não.

Quando se analisa o valor obtido do peso médio dos frutos na menor e na maior lâmina aplicada, seja no 1º ou no 2º Ciclo, não se identifica uma diferença tão considerável, mesmo que estes tenham se diferenciado estatisticamente. Dessa forma, também seria de se esperar que a diferença de produtividade não fosse tão grande em função das lâminas. Na verdade, foi constatado o inverso. Entretanto, pode ser facilmente explicado pela enorme diferença entre o número de frutos nos dois tratamentos, menor e maior lâmina, com 16 e 133 frutos por planta (1º Ciclo) e 42 e 159 frutos por planta (2º Ciclo), respectivamente. Além das repostas das plantas à oferta hídrica, isso pode ser atribuído também ao fato de plantas novas apresentarem elevado vigor vegetativo e produzirem um número relativamente baixo de frutos. Segundo Larcher (2000), a formação de flores e frutos está em competição com o crescimento vegetativo, e, no caso de perda da biomassa, ocorrida pelo motivo das podas de frutificação, há uma remoção de reservas, ocasionando a redução da capacidade reprodutiva da planta.

Dessa forma, de acordo com os resultados, verifica-se que, nas lâminas menores, a restrição hídrica favoreceu significativamente a redução no número de flores e frutos, refletindo diretamente em suas produtividades. Leitura semelhante foi realizada por Marin *et al.* (1995), onde comentam que a restrição hídrica, além de reduzir o crescimento da planta, favorece a produção de flores estéreis, reduzindo a produção de frutos.

Todavia, de acordo com os mesmos resultados, não se constatou excesso hídrico nas aplicações das maiores lâminas de irrigação, pois a resposta matemática alcançada para a produtividade, assim como para as demais características, foi de crescimento linear com o incremento de aplicação de efluente da piscicultura. Entretanto, a resposta de aumento de produtividade das culturas possui um limite com o incremento de água aplicada, pois o excesso de água em determinado momento diminuirá a aeração do solo e afetará diretamente

a absorção de nutrientes pelas plantas, possibilitando o aparecimento de doenças e causando a perda de nutrientes por lixiviação (MARIN *et al.*, 1995).

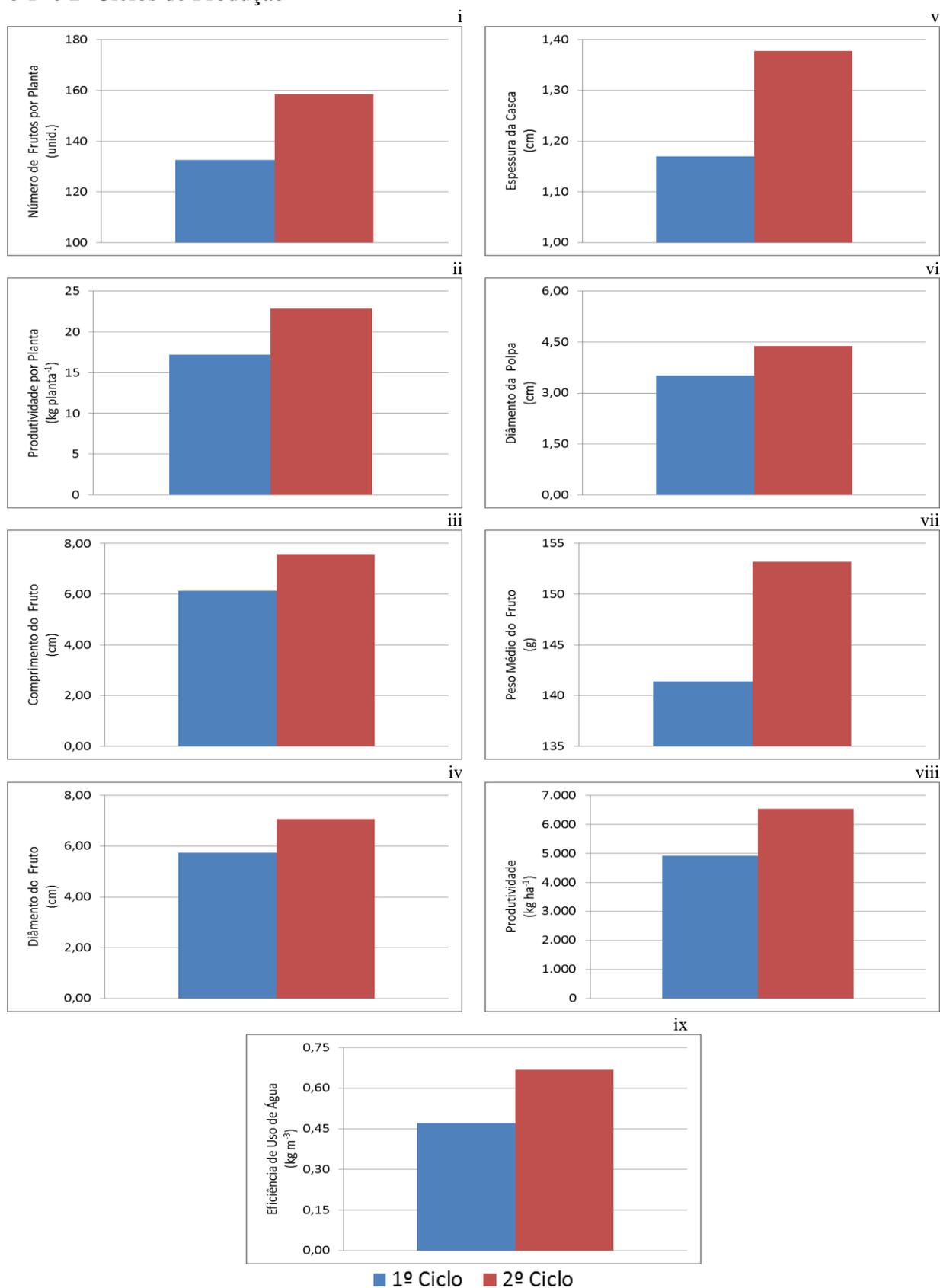
É importante lembrar que em nenhum dos ciclos avaliados foi possível obter mais de uma colheita no ano, o que contribuiu significativamente para uma menor produtividade anual e para a não obtenção do potencial máximo da cultura para os estádios de desenvolvimento avaliados. É possível que isso tenha ocorrido pelo fato de as podas de frutificação realizadas nos dois anos terem sido avaliadas como drásticas, favorecendo, de forma significativa, uma explosão no desenvolvimento vegetativo das plantas, em detrimento da produção. Em conformidade com o comentário acima, Gonzaga Neto *et al.* (2001) comentam que, embora a goiabeira seja satisfatoriamente responsiva à poda de frutificação, dois fatores importantes devem ser considerados, a época e a intensidade da poda, pois Gonzalez e Sourd (1982) e Singh, Singh e Rajan (2001) constataram que esses fatores podem afetar negativamente a produção de frutos em determinadas condições.

Posterior as análises estatísticas dos dados de desenvolvimento e produção da goiabeira, verificou-se que tanto no primeiro ciclo quanto no segundo, o tratamento T6 (150 % ETo), nas condições estudadas, foi o que proporcionou os maiores valores das características avaliadas.

Entretanto, na impossibilidade de analisar estatisticamente a produção entre os dois ciclos de produção, haja vista a diferença de lâmina de irrigação utilizada nos dois anos, resultado de situações climáticas distintas, apresenta-se uma análise de magnitude das características de produção da goiabeira irrigada com efluente da piscicultura, para o 1º e 2º ciclos de produção.

Assim, verifica-se que para o 2º ciclo, os valores de todas as características de produção da goiabeira foram superiores em: 16 % para o número de frutos por planta; 25 % para produtividade por planta; 19 % para o comprimento do fruto e diâmetro do fruto; 15 % para espessura da casca; 20 % para o diâmetro da polpa; 8 % para o peso médio do fruto; 25 % para a produtividade; e, aos impressionantes 30 % para a eficiência de uso de água (FIGURA 34).

Figura 34 – Características de produção da goiabeira proporcionadas pelo tratamento T6 para o 1º e 2º Ciclos de Produção



em que: i – N° de Frutos por Planta, em unidades; ii – Produtividade por Planta, em kg planta⁻¹; iii - Comprimento do Fruto, em cm; iv – Diâmetro do Fruto, em cm; v – Espessura da Casca, em cm; vi – Diâmetro da Polpa, em cm; vii – Peso médio dos frutos, em g; viii – Produtividade, em kg ha⁻¹; e, ix – Eficiência do Uso da Água, em kg m⁻³.

5.4.3 Distribuição do sistema radicular da goiabeira

No resumo da análise de variância apresentada na Tabela 18, verifica-se que: AR – Área de Raízes, PAR - Percentual da Área de Raízes, CR – Comprimento de Raízes e PCR - Percentual do Comprimento de Raízes, foram influenciados pelas lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, bem como pela distância em relação ao colo da planta e profundidade.

Pelo menos duas das quatro características analisadas apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$), em todas as análises. Assim, para uma análise detalhada, considerou-se somente a interação tripla - lâmina de irrigação com efluente da piscicultura x distância em relação ao colo da planta x profundidade, que influenciou ($p < 0,01$) as características de crescimento e distribuição radicular.

Pela comparação de médias (Tabelas 19, 20, 21 e 22), para a distribuição do sistema radicular da goiabeira em: área (cm^2), percentual de área de raízes (%), comprimento de raízes (cm) e percentual do comprimento de raízes (%), em função da interação tripla - lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, após o 1º Ciclo de produção, verifica-se que, para todas características (área, percentual de área de raízes, comprimento de raízes e percentual do comprimento de raízes), os valores crescem com a proximidade do caule da planta e da superfície do solo. Em análise similar, confirma-se que, com o incremento da lâmina de irrigação de efluente da piscicultura aplicada, todas as características apresentam decréscimos em seus valores médios com o distanciamento do caule da planta e com a profundidade a partir da superfície do solo.

Tabela 18 – Resumo da análise de variância da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em função da interação lâminas de irrigação, distância do caule da planta e profundidade, no ano de 2008

FV	GL	QM			
		AR (cm ²)	PAR (%)	CR (cm)	PCR (%)
Blocos	3	526,36234	0,00150	4,15509	9,47931
Lâminas	5	1340,99715**	0,00001**	9,05964**	9,47931 ^{ns}
Erro (A)	15	305,11675	0,00138	2,28372	9,47931
Distância	4	15597,93270**	1738,41733**	58,85111**	922,37110**
Lâminas x Distância	20	293,60702**	16,93570*	1,59181 ^{ns}	15,24816 ^{ns}
Erro (B)	72	116,93833	9,12301	0,99201	11,06152
Profundidade	4	8847,12174**	1044,77867**	41,01058**	611,71193**
Lâmina x Profundidade	20	400,51597**	62,86441**	3,46573**	65,58964**
Distância x Profundidade	16	4011,09470**	520,11902**	11,86706**	217,61798**
Lâmina x Distância x Profundidade	80	202,10034**	32,80181**	1,09878**	21,52639**
Erro (C)	360	91,58903	8,19692	0,68119	7,93862
Total	599	-	-	-	-
Média	-	12,41887	4,00003	1,00926	3,87431
CV Lâminas (%)	-	140,65	0,93	149,73	79,47
CV (%) Distância	-	87,08	75,51	98,69	85,85
CV Profundidade (%)	-	77,06	71,58	81,78	72,72

em que: AR é a Área de Raízes, em cm²; PAR é o Percentual da Área de Raízes, em %; CR é o Comprimento de Raízes, em cm; PCR é o Percentual do Comprimento de Raízes, em %; ns – não significativo; * - significância a 5,0 %; e, ** - significância à 1,0 %.

Tabela 19 – Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em área de raízes (cm²), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008

Lâminas (mm)	Distância (m)	Profundidade (m)				
		0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
591	0,00-0,20	83,25 A	42,12 B	16,20 C	14,47 C	5,79 C
	0,20-0,40	40,48 A	30,82 AB	16,59 BC	18,81 BC	2,91 C
	0,40-0,60	19,13 A	13,18 A	13,86 A	13,26 A	3,36 A
	0,60-0,80	11,70 A	9,60 A	7,73 A	3,98 A	4,37 A
	0,80-1,00	5,64 A	7,49 A	5,91 A	3,06 A	2,22 A
729	0,00-0,20	64,07 B	83,75 A	36,34 C	8,37 D	9,70 D
	0,20-0,40	17,19 B	40,66 A	20,35 B	8,41 B	13,66 B
	0,40-0,60	8,86 A	13,69 A	8,18 A	7,07 A	10,02 A
	0,60-0,80	6,55 A	7,52 A	5,40 A	6,00 A	8,06 A
	0,80-1,00	5,87 A	7,02 A	4,58 A	5,07 A	7,83 A
867	0,00-0,20	91,39 A	78,42 A	24,73 B	4,97 C	6,25 BC
	0,20-0,40	43,55 A	23,40 B	11,23 BC	4,80 C	2,62 C
	0,40-0,60	4,04 A	5,31 A	5,14 A	4,14 A	4,46 A
	0,60-0,80	3,86 A	5,50 A	5,42 A	2,88 A	5,35 A
	0,80-1,00	3,44 A	4,28 A	4,93 A	3,19 A	2,75 A
1.004	0,00-0,20	99,54 A	12,99 B	2,82 B	4,73 B	5,87 B
	0,20-0,40	20,56 A	5,09 AB	3,71 AB	1,81 B	4,11 AB
	0,40-0,60	4,48 A	3,31 A	3,64 A	2,43 A	2,95 A
	0,60-0,80	7,60 A	2,07 A	2,50 A	1,99 A	2,88 A
	0,80-1,00	2,32 A	0,92 A	1,78 A	1,01 A	0,88 A
1.143	0,00-0,20	50,96 A	32,17 B	9,64 C	2,80 C	5,04 C
	0,20-0,40	32,29 A	14,40 AB	3,04 B	1,44 B	4,90 B
	0,40-0,60	6,72 A	5,42 A	3,56 A	0,94 A	1,97 A
	0,60-0,80	6,78 A	7,74 A	4,14 A	2,71 A	2,18 A
	0,80-1,00	2,94 A	3,73 A	4,62 A	2,98 A	2,45 A
1.281	0,00-0,20	76,42 A	39,09 B	14,23 C	11,78 C	7,71 C
	0,20-0,40	10,98 A	11,15 A	8,00 A	8,60 A	5,46 A
	0,40-0,60	3,83 A	8,07 A	6,37 A	6,08 A	6,24 A
	0,60-0,80	6,37 A	7,44 A	6,59 A	5,68 A	5,96 A
	0,80-1,00	3,82 A	5,42 A	4,45 A	5,90 A	3,44 A

As médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a ($p < 0,05$).

Tabela 20 – Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual da área de raízes (%), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008

Lâminas (mm)	Distância (m)	Profundidade (m)				
		0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
591	0,00-0,20	24,14 A	11,37 B	4,33 C	3,39 C	1,58 C
	0,20-0,40	9,31 A	7,55 A	4,53 AB	4,39 AB	0,79 B
	0,40-0,60	4,40 A	2,66 A	2,82 A	2,81 A	0,78 A
	0,60-0,80	2,72 A	2,44 A	1,91 A	0,86 A	1,05 A
	0,80-1,00	1,39 A	1,99 A	1,45 A	0,69 A	0,56 A
729	0,00-0,20	15,15 A	19,61 A	8,05 B	1,94 C	2,52 BC
	0,20-0,40	4,18 AB	9,22 A	4,64 AB	2,08 B	4,08 AB
	0,40-0,60	2,03 A	3,45 A	2,00 A	1,63 A	2,85 A
	0,60-0,80	1,54 A	1,68 A	1,31 A	1,58 A	2,22 A
	0,80-1,00	1,49 A	1,74 A	1,23 A	1,55 A	2,13 A
867	0,00-0,20	25,70 A	23,46 A	6,91 B	1,39 B	1,50 B
	0,20-0,40	10,70 A	6,94 AB	3,24 BC	1,44 BC	0,66 C
	0,40-0,60	1,22 A	1,57 A	1,44 A	1,21 A	1,06 A
	0,60-0,80	1,12 A	1,54 A	1,52 A	0,77 A	1,29 A
	0,80-1,00	1,00 A	1,20 A	1,50 A	0,85 A	0,68 A
1.004	0,00-0,20	49,70 A	6,22 B	1,36 B	2,27 B	2,90 B
	0,20-0,40	10,28 A	2,42 B	1,80 B	0,88 B	2,03 B
	0,40-0,60	2,24 A	1,63 A	1,73 A	1,18 A	1,58 A
	0,60-0,80	3,80 A	0,96 A	1,19 A	0,97 A	1,47 A
	0,80-1,00	1,13 A	0,42 A	0,83 A	0,46 A	0,44 A
1.143	0,00-0,20	25,71 A	14,67 B	3,97 C	1,51 C	1,28 C
	0,20-0,40	13,61 A	5,71 B	1,49 B	0,79 B	2,16 B
	0,40-0,60	2,82 A	2,33 A	1,91 A	0,48 A	1,05 A
	0,60-0,80	2,96 A	3,93 A	2,06 A	1,35 A	1,19 A
	0,80-1,00	1,59 A	1,99 A	2,44 A	1,59 A	1,33 A
1.281	0,00-0,20	26,93 A	13,86 B	5,07 C	4,14 C	3,65 C
	0,20-0,40	3,94 A	3,98 A	2,85 A	3,07 A	1,94 A
	0,40-0,60	1,34 A	2,85 A	2,25 A	2,18 A	2,21 A
	0,60-0,80	2,30 A	2,62 A	2,37 A	2,05 A	2,13 A
	0,80-1,00	1,36 A	1,91 A	1,60 A	2,13 A	1,20 A

As médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a ($p < 0,05$).

Tabela 21 – Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em comprimento de raízes (cm), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008

Lâminas (mm)	Distância (m)	Profundidade (m)				
		0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
591	0,00-0,20	5,52 A	3,93 A	1,44 B	1,27 B	0,43 B
	0,20-0,40	3,80 A	3,13 AB	1,72 BC	1,83 BC	0,32 C
	0,40-0,60	2,36 A	1,38 AB	1,56 AB	1,26 AB	0,23 B
	0,60-0,80	1,26 A	1,07 A	0,85 A	0,37 A	0,14 A
	0,80-1,00	0,59 A	0,75 A	0,64 A	0,32 A	0,18 A
729	0,00-0,20	3,36 AB	4,82 A	2,88 B	0,68 C	0,81 C
	0,20-0,40	1,45 AB	3,02 A	1,75 AB	0,76 C	0,76 B
	0,40-0,60	0,77 A	1,32 A	0,81 A	0,50 A	0,73 A
	0,60-0,80	0,60 A	0,61 A	0,57 A	0,56 A	0,65 A
	0,80-1,00	0,52 A	0,63 A	0,44 A	0,49 A	0,65 A
867	0,00-0,20	5,41 A	5,01 A	1,93 B	0,43 A	0,43 B
	0,20-0,40	1,99 A	1,81 A	1,28 AB	0,50 AB	0,21 B
	0,40-0,60	0,44 A	0,45 A	0,46 A	0,45 A	0,38 A
	0,60-0,80	0,52 A	0,58 A	0,52 A	0,30 A	0,52 A
	0,80-1,00	0,31 A	0,60 A	0,48 A	0,32 A	0,29 A
1.004	0,00-0,20	5,19 A	0,83 B	0,25 B	0,38 B	0,72 B
	0,20-0,40	2,15 A	0,33 B	0,33 B	0,19 B	0,60 AB
	0,40-0,60	0,49 A	0,35 A	0,32 A	0,24 A	0,27 A
	0,60-0,80	0,91 A	0,19 A	0,24 A	0,37 A	0,22 A
	0,80-1,00	0,24 A	0,15 A	0,18 A	0,08 A	0,10 A
1.143	0,00-0,20	4,46 A	3,47 A	1,14 B	0,33 B	0,23 A
	0,20-0,40	5,29 A	1,63 B	0,32 A	0,17 B	0,61 A
	0,40-0,60	0,91 A	0,50 A	0,43 A	0,10 A	0,25 A
	0,60-0,80	0,66 A	0,89 A	0,54 A	0,36 A	0,35 A
	0,80-1,00	0,31 A	0,45 A	0,59 A	0,41 A	0,33 A
1.281	0,00-0,20	2,18 A	2,32 A	1,01 A	1,04 A	0,83 A
	0,20-0,40	0,83 A	0,99 A	0,75 A	0,80 A	0,52 A
	0,40-0,60	0,40 A	0,76 A	0,67 A	0,61 A	0,54 A
	0,60-0,80	0,46 A	0,66 A	0,59 A	0,60 A	0,55 A
	0,80-1,00	0,34 A	0,50 A	0,40 A	0,50 A	0,33 A

As médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a ($p < 0,05$).

Tabela 22 – Teste de média para a distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual do comprimento de raízes (%), em função da interação lâminas de irrigação x distância do caule da planta x profundidade, no ano de 2008

Lâminas (mm)	Distância (m)	Profundidade (m)				
		0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-1,00
591	0,00-0,20	17,39 A	11,56 A	4,00 C	3,21 C	1,36 C
	0,20-0,40	10,26 A	8,44 AB	4,79 BC	4,63 BC	1,04 C
	0,40-0,60	6,16 A	3,08 AB	3,42 AB	3,02 AB	0,67 B
	0,60-0,80	3,20 A	3,01 A	2,36 A	0,93 A	0,49 A
	0,80-1,00	1,63 A	2,13 A	1,70 A	0,86 A	0,55 A
729	0,00-0,20	8,72 A	11,69 A	6,72 AB	1,75 B	2,65 B
	0,20-0,40	3,80 AB	8,49 A	4,21 AB	1,97 B	2,62 B
	0,40-0,60	1,95 A	3,21 A	2,64 A	1,43 A	2,71 A
	0,60-0,80	1,55 A	1,42 A	1,44 A	1,55 A	2,31 A
	0,80-1,00	1,30 A	1,71 A	1,04 A	1,81 A	2,33 A
867	0,00-0,20	20,86 A	20,45 A	7,32 B	1,66 C	1,48 C
	0,20-0,40	7,43 A	7,40 A	5,15 AB	2,03 AB	0,73 B
	0,40-0,60	1,83 A	1,81 A	1,78 A	1,82 A	1,28 A
	0,60-0,80	2,23 A	2,18 A	1,98 A	1,11 A	1,76 A
	0,80-1,00	1,25 A	2,15 A	2,01 A	1,17 A	0,97 A
1.004	0,00-0,20	34,29 A	5,13 B	1,51 B	2,35 B	4,73 B
	0,20-0,40	14,45 A	2,05 B	2,11 B	1,21 B	4,40 B
	0,40-0,60	2,97 A	2,35 A	2,00 A	1,64 A	2,65 A
	0,60-0,80	5,45 A	1,06 A	1,42 A	2,44 A	1,43 A
	0,80-1,00	1,36 A	0,83 A	1,06 A	0,43 A	0,57 A
1.143	0,00-0,20	20,85 A	14,28 B	4,33 C	1,54 C	1,04 C
	0,20-0,40	17,08 A	5,40 B	1,39 B	0,81 B	2,62 B
	0,40-0,60	3,52 A	1,83 A	1,99 A	0,47 A	1,17 A
	0,60-0,80	2,36 A	3,90 A	2,35 A	1,57 A	1,67 A
	0,80-1,00	1,47 A	2,05 A	2,72 A	1,90 A	1,56 A
1.281	0,00-0,20	11,42 A	12,14 A	5,12 B	5,44 B	4,35 B
	0,20-0,40	4,40 A	5,27 A	3,78 A	4,08 A	2,72 A
	0,40-0,60	2,13 A	4,03 A	3,47 A	3,11 A	2,82 A
	0,60-0,80	2,42 A	3,52 A	3,03 A	3,05 A	2,83 A
	0,80-1,00	1,78 A	2,60 A	2,00 A	2,62 A	1,75 A

As médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a ($p < 0,05$).

Pelas Figuras 35, 36, 37 e 38 pode-se verificar os perfis de distribuição espacial do sistema radicular da goiabeira Paluma expressos em: área de raízes, percentual de área de raízes, comprimento de raízes e percentual do comprimento de raízes, em relação às distâncias horizontal e vertical a partir do caule da planta e da superfície do solo, em função das lâminas de efluente de piscicultura aplicadas via irrigação (591 mm; 729 mm; 867 mm; 1.004 mm; 1.143 mm; e, 1.281 mm).

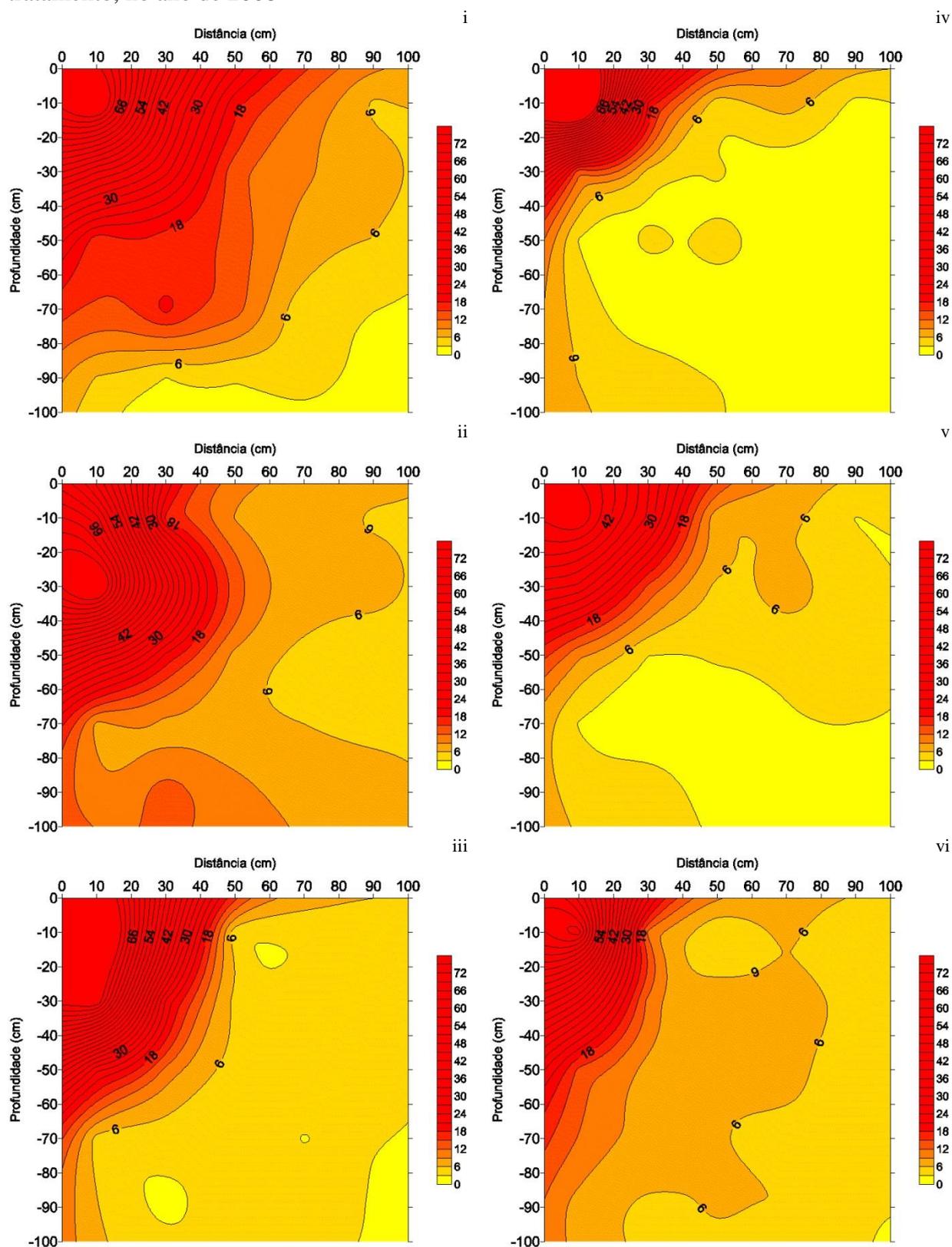
Analisando a Figura 35, percebe-se que, para a lâmina de irrigação de 591 mm, o perfil de distribuição radicular entre 0,0 m – 0,80 m e 0,0 m – 0,60 m nas distâncias vertical (profundidade) e horizontal, respectivamente, apresentou-se com uma maior concentração de área ou superfície radicular. Com a aplicação da lâmina de 1.004 mm, o perfil de distribuição radicular se mostrou bem diferente daquele apresentado com a aplicação da menor lâmina de irrigação. Para o tratamento de maior lâmina de irrigação, o que se percebe é um maior aprofundamento do sistema radicular, quando comparado ao tratamento T4 (1.004 mm).

Comportamento semelhante à Figura 34 pode ser constatado na Figura 36, em que se observa uma distribuição mais equitativa nos tratamentos de menores lâminas aplicadas. Nos tratamentos com maiores lâminas de irrigação, identifica-se uma maior concentração de distribuição dos percentuais de área de raízes na camada de 0,00 m - 0,30 m de profundidade e distância do caule da planta de 0,00 m – 0,30 m, chegando a concentrar 89 %; 86 %; e, 93 %, respectivamente, para as lâminas de 1.004 mm; 1.143 mm; e, 1.281 mm.

Para comprimento de raízes (Figura 37), o efeito das maiores lâminas de irrigação foi ainda mais efetivo, onde, quanto menor for a distância do caule da planta e a profundidade, maior será o comprimento de raiz encontrada. Verifica-se uma distribuição mais igualitária em todo o perfil analisado para o tratamento de menor lâmina de irrigação (591 mm), onde os maiores valores de comprimento de raiz são encontrados no perfil que vai desde 0,00 m – 0,50 m de profundidade e 0,00 m – 0,50 m de distância do caule da planta, e os valores de menor comprimento de raiz se espalham atingindo até 0,80 m de profundidade e 0,90 m de distância do caule da planta.

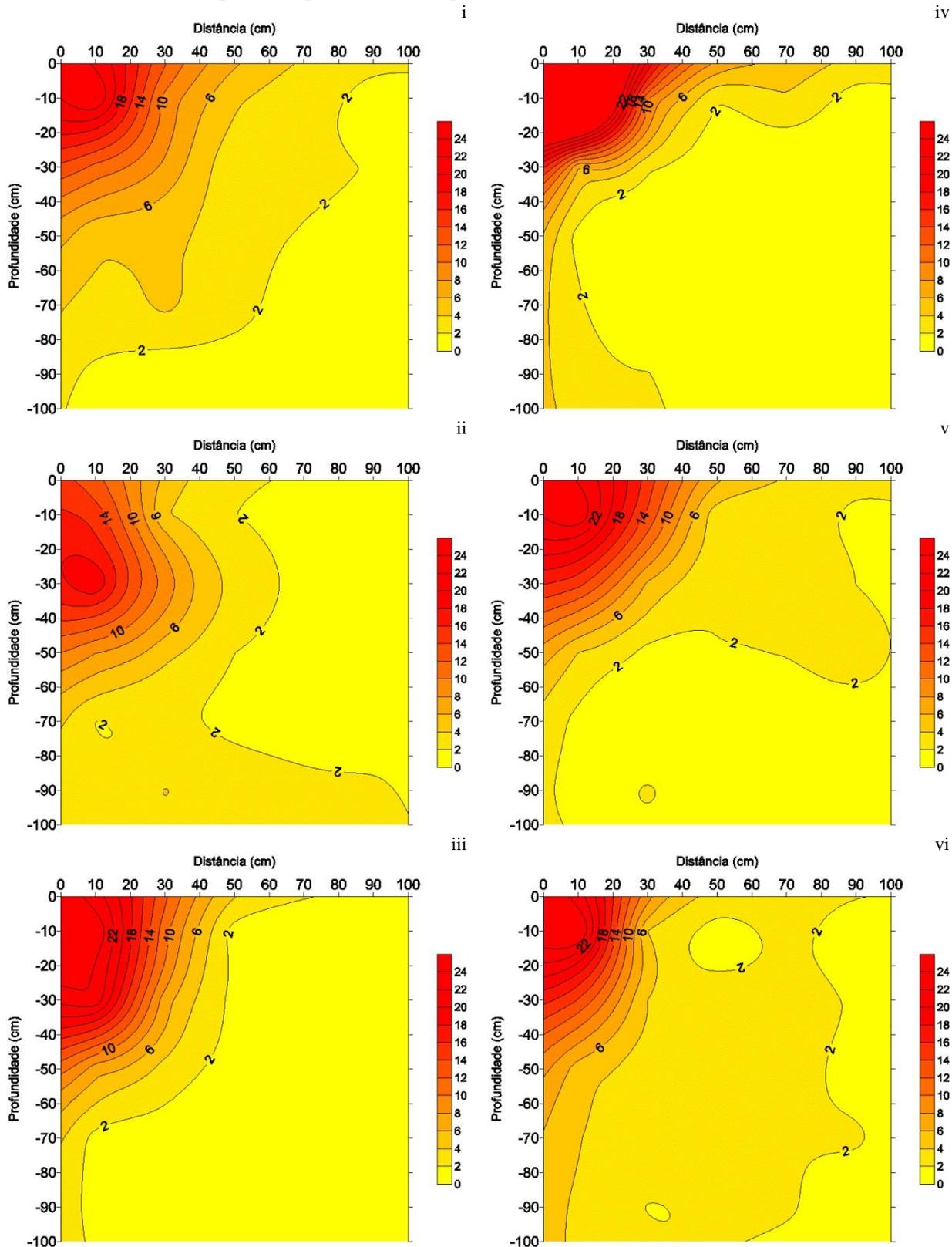
Quando analisado o percentual do comprimento de raízes, nota-se que os resultados são bastante semelhantes, reflexo da característica comprimento de raízes (Figura 38). Percebe-se, ainda, que o maior percentual de comprimento de raiz encontra-se de 0,00 m – 0,30 m e 0,00 m – 0,40 m, 0,00 m – 0,40 m e 0,00 m – 0,40 m, e, 0,00 m – 0,40 m e 0,00 m – 0,40 m, respectivamente, para profundidade e distância do caule para os tratamentos de maiores lâminas de irrigação (T4, T5 e T6). Esses mesmos perfis e tratamentos chegaram a concentrar 89 %; 90 %; e, 96 % do comprimento das raízes, respectivamente. Em contraposição, as menores lâminas aplicadas propiciaram uma melhor distribuição no perfil, onde a lâmina de 591 mm concentrou na camada de 0,00 m – 0,60 m e 0,00 m – 0,60 m cerca de 95 % do comprimento de raiz; a de 729 mm concentrou na camada de 0,00 m - 0,50 m e 0,00 m – 0,60 m cerca de 99 % do comprimento de raiz; e, a de 867 mm concentrou na camada de 0,00 m - 0,70 m e 0,00 m – 0,50 m cerca de 98 % do comprimento de raiz.

Figura 35 – Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em área (cm^2), em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008



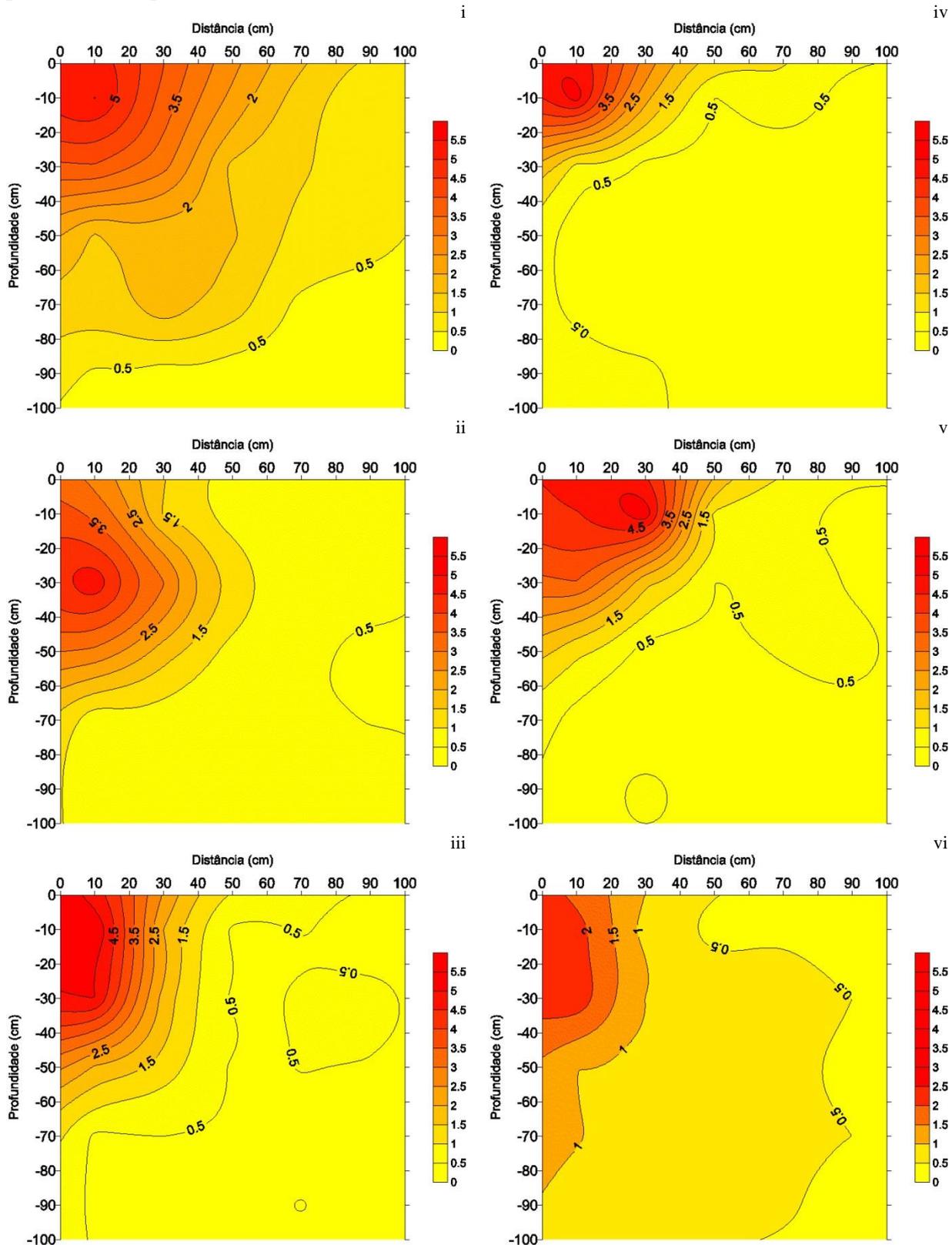
em que: i – Lâmina de 591 mm; ii – Lâmina de 729 mm; iii – Lâmina de 867 mm; iv – Lâmina de 1.004 mm; v – Lâmina de 1.143 mm; e, vi – Lâmina de 1.281 mm.

Figura 36 – Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual da área total de raízes na camada avaliada, em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008



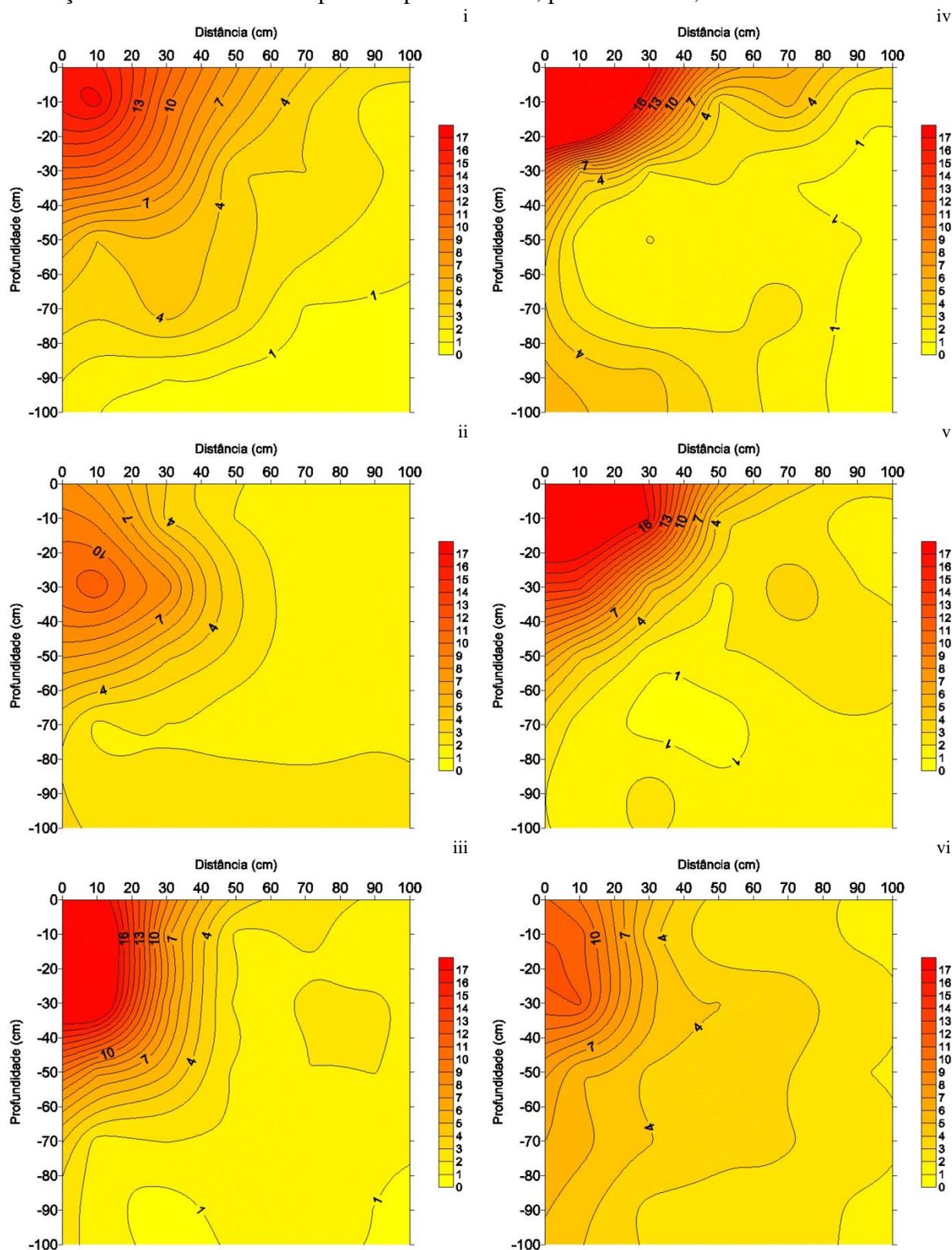
em que: i – Lâmina de 591 mm; ii – Lâmina de 729 mm; iii – Lâmina de 867 mm; iv – Lâmina de 1.004 mm; v – Lâmina de 1.143 mm; e, vi – Lâmina de 1.281 mm.

Figura 37 – Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em comprimento das raízes (cm), em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008



em que: i – Lâmina de 591 mm; ii – Lâmina de 729 mm; iii – Lâmina de 867 mm; iv – Lâmina de 1.004 mm; v – Lâmina de 1.143 mm; e, vi – Lâmina de 1.281 mm.

Figura 38 – Resposta da distribuição do sistema radicular da goiabeira, em percentual do comprimento linear total de raízes na camada avaliada, em função da interação distância do caule da planta x profundidade, por tratamento, no ano de 2008



em que: i – Lâmina de 591 mm; ii – Lâmina de 729 mm; iii – Lâmina de 867 mm; iv – Lâmina de 1.004 mm; v – Lâmina de 1.143 mm; e, vi – Lâmina de 1.281 mm.

Segundo Coelho *et al.* (2002) e Konrad, Hernandez e Santos (2001), para se determinar a quantidade adequada de água a ser aplicada na irrigação às plantas, é fundamental o conhecimento da distribuição do sistema radicular, tanto no sentido vertical (profundidade efetiva do sistema radicular) quanto no sentido horizontal. Essas informações subsidiarão possíveis intervenções, também, na aplicação de nutrientes, na escolha do emissor de água do sistema de irrigação, assim como na decisão da distância e profundidade de instalação de sensores de monitoramento de água no solo.

No mesmo sentido, Feitosa *et al.* (2010), estudando a distribuição espacial das raízes da cultura da mamoneira, identificou que seu sistema radicular, para as condições estudadas, concentrou-se em uma faixa de 0,00 m a 0,45 m de profundidade e a uma distância do caule da planta de até 0,55 m. Concluiu ainda que esses são os intervalos mais adequados para instalação de sensores de monitoramento para fins de irrigação e fertirrigação.

Em estudo realizado em Petrolina-PE, com a cultura da goiabeira irrigada por microaspersão, foi possível concluir que a maior concentração do sistema radicular, para as condições estudadas, encontrava-se a uma distância de 0,20 m do colo da planta. De acordo com o autor, esse fato se deveu à proximidade de matéria orgânica e à aplicação de fertilizantes, que ocorrerem naquelas intermediações (FERREIRA, 2004). Nesse mesmo estudo, verificou ainda que, em todos os perfis, as raízes atingiram até a profundidade de 1,20 m. Vale ressaltar que, nesse estudo, as plantas contavam quatro anos de idade e a lâmina aplicada via irrigação foi de 614 mm. O autor concluiu que a profundidade e a distância efetiva das raízes da goiabeira encontravam-se a 0,94 m e 1,27 m, respectivamente, recomendando, assim, a profundidade e a distância do colo da planta de 0,60 m, como a coordenada para o monitoramento da unidade do solo e aplicação de nutrientes e matéria orgânica.

Confrontando os resultados alcançados pela distribuição do sistema radicular em função da distância do caule da planta e profundidade com o monitoramento da umidade do solo no perfil a 0,30 m de distância do colo da planta e de 0,00 m – 0,60 m de profundidade, para os diversos tratamentos de aplicação de lâmina de irrigação, identifica-se uma correlação entres os resultados. Quando o solo apresentou menores valores de umidade, foi reflexo de uma menor aplicação de lâmina de água e de maior distribuição de raízes no perfil do solo em questão, maximizando, assim, a redução de umidade no solo.

Nesse sentido, é possível dizer que o déficit hídrico ocorrido nas menores lâminas aplicadas foi indutor do crescimento das raízes, tanto no sentido horizontal quanto no vertical. Quando os resultados de distribuição do sistema radicular são cruzados à característica

morfológica altura da planta (que não apresentou diferença significativamente estatística em função das lâminas aplicadas), percebe-se que a planta investiu fortemente em seu crescimento vegetativo em detrimento ao produtivo, nas menores lâminas aplicadas.

5.4.4 Desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira

Na Tabela 23, apresenta-se um resumo da análise de variância para o fator cobertura vegetal, em área sombreada (m²) e em percentagem de área sombreada (%), em função das lâminas de irrigação aplicadas e período de avaliação (dias após a poda – DAP). Vale lembrar que, com o final da aplicação das lâminas, realizou-se uma poda drástica nas plantas, e, concomitantemente, teve início o período chuvoso.

Quando se analisa o tratamento lâmina de irrigação, independentemente, e interação lâmina de irrigação x dias após a poda, verifica-se que não houve diferença estatística significativa no desenvolvimento da cobertura vegetal das plantas. Contudo, para o tratamento dias após a poda, como esperado, o desenvolvimento da cobertura vegetal se diferenciou significativamente ($p < 0,01$).

Tabela 23 – Resumo da análise de variância do desenvolvimento da cobertura vegetal e índice de cobertura vegetal em função dos níveis de irrigação e de dias após a poda, no ano de 2009

FV	GL	QM	
		CV (m ²)	ICV (%)
Blocos	3	0,25522 ^{ns}	31,50897 ^{ns}
Lâminas	5	0,94120 ^{ns}	116,19693 ^{ns}
Erro (A)	15	1,11622	137,80439
DAP	4	184,97601**	22836,54457**
Lâminas x DAP	20	0,20863 ^{ns}	25,75641 ^{ns}
Erro (B)	72	0,34686	42,82267
Total	119	-	-
Média	-	6,283641	69,84905
CV Lâminas (%)	-	16,81	16,81
CV DAP (%)	-	9,37	9,37

em que: CV é a Cobertura Vegetal, em m²; ICV é o Índice de Cobertura Vegetal, em %; ns – não significativo; e, ** - significância à 1,0 %.

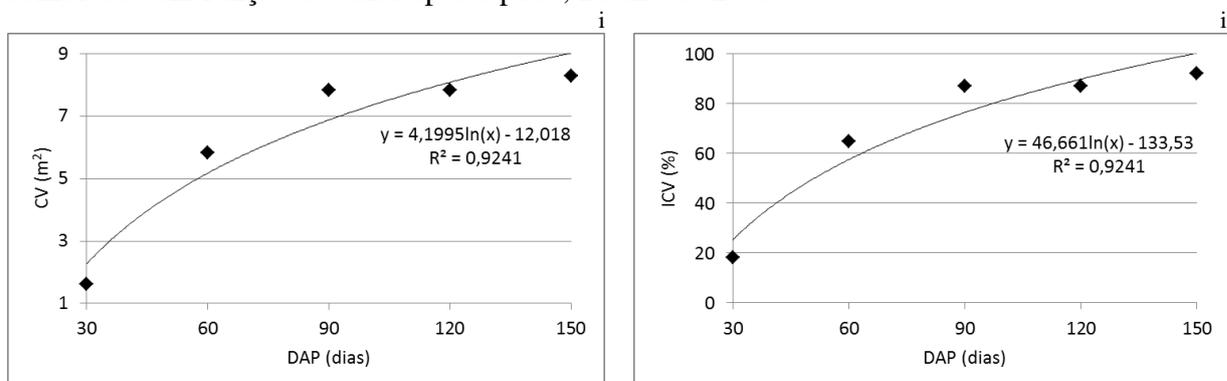
A partir da análise de regressão da cobertura vegetal e do índice de cobertura vegetal em função dos dias após a poda (DAP), apurou-se que o modelo logarítmico foi o que melhor se ajustou à resposta biológica das plantas, ajustando-se com coeficientes de

determinação de 0,9241 para as duas características (Figura 39). Verificaram-se aumentos crescentes da cobertura vegetal e do índice de cobertura vegetal em função dos dias após a poda (DAP). Apesar disso, a partir do 90º DAP, os incrementos na área da cobertura vegetal e índice de cobertura vegetal tenderam a se manter constantes. A cobertura vegetal e o índice de cobertura vegetal chegaram ao seu máximo, no período observado, aos 150 dias após a poda, chegando a total cobertura do solo (100 % de cobertura vegetal).

Gondim *et al.* (2004), avaliando a cobertura de uma variedade de helicônia em ambiente protegido, encontrou equações lineares para a determinação do coeficiente de cobertura do solo. Já Costa *et al.* (2004), observou um melhor ajuste à equação polinomial.

Com os resultados de distribuição do sistema radicular, e agora com os de desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira, foi possível avaliar a recuperação das plantas em função do estresse hídrico, seja pelas menores ou maiores lâminas de irrigação, aplicadas por um período de seis meses e meio (195 dias). Como o desenvolvimento da cobertura vegetal não foi influenciado significativamente pelas lâminas de irrigação aplicadas no ano anterior (anterior ao período chuvoso do ano de 2009), pode-se dizer que as plantas que apresentavam menor crescimento vegetativo, de acordo com a segunda biometria do ano de 2008, recuperaram a cobertura vegetal, igualando-se às demais plantas dos tratamentos que não sofreram déficit hídrico. Provavelmente, deveu-se as plantas que receberam os tratamentos com menores lâminas de irrigação (afetadas significativamente nos parâmetros de crescimento e de produção) desenvolverem melhor seus sistemas radiculares, tanto em relação à distância do caule da planta quanto em profundidade, o que foi preponderante para a recuperação de seu crescimento vegetativo quando não houve diferenciação de lâmina.

Figura 39 – Análise de regressão da área da cobertura vegetal e da percentagem de área sombreada em função dos dias após a poda, no ano de 2009



em que: DAP é o nº de dias após a poda; i – CV é a Cobertura Vegetal (m²); e, ii – ICV é o Índice de Cobertura Vegetal (%).

Allen *et al.* (1998) discorrem que o monitoramento da cobertura vegetal é fundamental para definição, nos estudos de evapotranspiração e estimativa dos coeficientes de cultivo, dos estágios de desenvolvimento da cultura (estágio inicial – até 10 % de cobertura; estágio de desenvolvimento da cultura – até aproximadamente 70-80 % de cobertura; estágio intermediário – cobertura total até o início da maturação e estágio final – início da maturação até total senescência). Essa definição de categorias tratadas pelos autores supracitados se adequa muito bem às culturas temporárias, entretanto, para culturas permanentes como a goiabeira, que necessita de podas anuais ou até mesmo com frequência superior (manejo indispensável nos cultivos comerciais), esses estádios poderiam sofrer algum ajuste em função dos dias após a poda.

Assim, sugere-se uma adequação ao modelo proposto por Allen *et al.* (1998), para o cultivo da goiabeira que necessita de poda de frutificação, estádios de desenvolvimento da cobertura vegetal baseados nos seus três ciclos iniciais de produção e no seu quarto ciclo, quando a produção é estabilizada. Dessa forma, seriam criados índices para cada ciclo de produção em função dos dias após a poda de frutificação, iniciando em 20 % de cobertura vegetal e indo até 80 % (Tabela 24).

Tabela 24 – Estádios para a cultura da goiabeira em função dos dias após a poda de frutificação e do Índice de Cobertura Vegetal

DAP	Estádios				
	Ciclos de Produção				
	1º	2º	3º	4º	ICV (%)
30	PCP ₁	SCP ₁	TCP ₁	CPE ₁	≤ 20
90	PCP ₂	SCP ₂	TCP ₂	CPE ₂	20 < ICV ≤ 80
90 até a colheita	PCP ₃	SCP ₃	TCP ₃	CPE ₃	> 80

em que: DAP é o nº de dias após a poda; PCP é o Primeiro Ciclo de Produção; SCP é o Segundo Ciclo de Produção; TCP é o Terceiro Ciclo de Produção; e, CPE é o Ciclo de Produção Estabilizada.

A determinação da cobertura vegetal, além de ser extremamente importante na estimativa de coeficiente de cultivo, logo, fundamental para o manejo da irrigação, também possui papel de destaque em estudos de erosão hídrica. Dessa forma, para algumas culturas, como exemplo: a soja, feijão e outras, o uso de variedades que proporcionem uma maior cobertura vegetal do terreno, e, que, conseqüentemente, reduzam o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, diminuindo as perdas de solo, água, matéria orgânica e de nutrientes por erosão hídrica, bem como, o desenvolvimento de modelos que estimem esta

cobertura vegetal, assumem papel fundamental no controle da erosão hídrica e na utilização do solo de forma sustentável (SILVA *et al.*, 2005).

5.4.5 Estimativa do coeficiente de redução da evapotranspiração (Kr)

Na Tabela 25, visualizam-se os coeficientes de redução da evapotranspiração (Kr) para os estádios de desenvolvimento da cobertura vegetal da goiabeira ora apresentados neste trabalho (Tabela 24), estimados pelas equações propostas por Aljibury (GOMES, 1994), Decroix (VERMEIREN; JOBLING, 1997), Freeman e Garzoli (VERMEIREN; JOBLING, 1997), Keller (GOMES, 1994), e Keller e Karmeli (VERMEIREN; JOBLING, 1997).

Tabela 25 – Coeficiente de Redução da Evapotranspiração (Kr) médios para a cultura da goiabeira no 2º ano de produção

DAP	Estádio	CV (cm ²)	ICV (%)	Kr (%)				
				Aljibury	Decroix	Freeman e Garzoli	Keller	Keller e Karmeli
27*	SCP ₁	1,82	20,00	27,14	30,26	60,13	32,22	34,93
30	SCP ₂	2,27	25,17	33,73	35,17	62,59	36,40	43,40
60	SCP ₂	5,18	57,52	77,07	67,52	78,76	63,89	99,17
90	SCP ₂	6,88	76,44	100,00	86,44	88,22	79,97	100,00
97*	SCP ₂	7,19	80,00	100,00	89,93	89,97	82,94	100,00
120	SCP ₃	8,09	89,86	100,00	99,86	94,93	91,38	100,00
150	SCP ₃	9,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

em que: DAP é o nº de dias após a poda; SCP é o Segundo Ciclo de Produção; CV é a Cobertura vegetal; ICV é o Índice de cobertura vegetal; e, Kr é o Coeficiente de Redução da Evapotranspiração.

A identificação do estágio SCP₁ (até 20 % de cobertura) para a goiabeira, de 0 a 27 dias após a poda de frutificação, apresenta valores de Kr, aproximadamente, entre 27,14 % (Aljibury) e 60,13 % (Freeman e Garzoli).

O estágio de 20 % < índice de cobertura vegetal ≤ 80 %, representado por SCP₂, não foi completamente atingido até os 90 DAP, embora, a partir da equação de regressão do tipo logarítmica expressa na Figura 39ii, onde 92,41 % dos dados se ajustam a equação, estima-se que no dia 97 DAP, as plantas de goiabeira do experimento, atinjam os 80 % necessário para mudança do estágio. Para esse estágio, a goiabeira em seu segundo ciclo de produção apresentou Kr variando de 82,94 % (Keller) e 100,00 % (Aljibury; Keller e

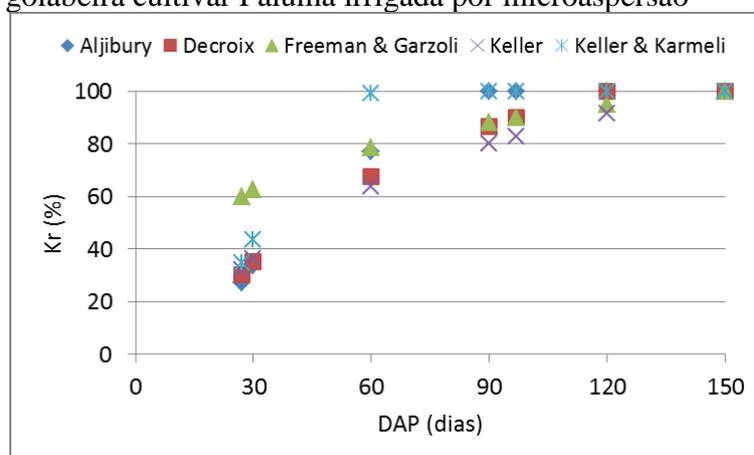
Karmeli). Assim, verifica-se que a equação proposta por Aljibury; Keller e Karmeli são as que resultam nos valores mais elevados de coeficiente de redução. Sua utilização nas condições de semiárido, onde o uso racional da água é fundamental para o sucesso da agricultura, torna-se pouco efetiva devido sua superestimativa que visa maior segurança no suprimento de água de irrigação para as plantas.

O estágio final (SCP₃), com ICV maior que 80 %, foi alcançado em todos os períodos avaliados a partir do 98º DAP. Sendo que, com a utilização da equação de Aljibury; Keller e Karmeli, aos 120 DAP, o estágio apresentou Kr de 100,00 %. Dessa forma, como exposto anteriormente, a equação de Aljibury; Keller e Karmeli para estimar o Kr não se adequa às condições de semiárido, pois não visa a economia dos recursos hídricos. O Kr de 100 % foi alcançado por todos os períodos aos 150 DAP.

Os valores de Kr estimados pelas equações propostas por Decroix, Freeman e Garzoli, e Keller, possuem comportamento mais próximo do Índice de Cobertura do solo (IC), o que as tornam mais racionais, do ponto de vista da economia dos recursos hídricos, e melhor aplicável às condições do semiárido brasileiro.

A estimativa adequada do fator de redução da evapotranspiração é de fundamental importância para a determinação da quantidade de água aplicada diariamente às culturas com irrigação localizada, principalmente, para fins de dimensionamento de sistemas e do próprio manejo da irrigação. É de fundamental importância o conhecimento real dessa redução, pois, atualmente, os fatores de redução usados em irrigação localizada não possuem precisão, já que são utilizados coeficientes aleatórios estimados pelos projetistas, e, são considerados apenas a parte financeira dos projetos de irrigação (CARVALHO *et al.*, 2007).

Figura 40 - Evolução do coeficiente de redução (Kr) da goiabeira cultivar Paluma irrigada por microaspersão



em que: DAP é o nº de dias após a poda; e, Kr é o Coeficiente de Redução da Evapotranspiração.

A Figura 40 mostra a evolução o coeficiente de redução (Kr) da goiabeira com as cinco metodologias exploradas neste trabalho. Observam-se valores maiores de Kr para a metodologia de Aljibury e Keller e Karmeli. Resultados semelhantes foram observados por Carvalho *et al.* (2007) para diversas fruteiras tropicais irrigadas por sistemas localizados.

5.5 Cultivo da tilápia

5.5.1 Características de crescimento dos peixes

As características de crescimento dos peixes, peso e comprimento, avaliadas até os 175 dias após o povoamento dos reservatórios, com Tilápia Nilótica, para o primeiro e segundo ciclos, são apresentados na Tabela 26. Pelos valores de peso e comprimento, pode-se verificar que o comportamento entre os dois ciclos são semelhantes, embora com os valores de primeiro ciclo ligeiramente superior aos do segundo ciclo.

Pela análise de variância (Tabela 26), constatou-se que o tempo, em termos de dias após o povoamento do reservatório (DAPR), influenciou significativamente ($p < 0,01$) o peso e o comprimento dos peixes. O peso médio dos peixes, obtidos nas biometrias durante o 1º e 2º Ciclo de produção, foi de 235,20 g e 202,44 g, respectivamente. Acompanhando esses resultados, o comprimento médio dos peixes foi de 20,04 cm e 19,01 cm, respectivamente para o 1º e 2º Ciclo de produção. O coeficiente de variação máximo encontrado para essas características foi de 4,77 %, na característica peso dos peixes, no 2º Ciclo.

Tabela 26 – Resumo da análise de variância das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009

FV	GL	QM			
		Peso (g)	Comprimento (cm)	Peso (g)	Comprimento (cm)
		1º Ciclo (2008)		2º Ciclo (2009)	
DAPR	4	128290,0851**	171,1774**	95164,9868**	159,8597**
Resíduo	20	75,3569	0,2032	93,2183	0,0658
Total	24	-	-	-	-
Média	-	235,1974	20,0383	202,4434	19,0109
CV (%)	-	3,69	2,25	4,77	1,35

em que: DAPR é o nº de dias após o povoamento do reservatório; e, ** significância à 1,0 %

Pela análise de regressão apresentada na Tabela 27, verificou-se que as características de crescimento dos peixes, em função do período de realização das biometrias, ajustaram-se significativamente ($p < 0,01$) ao modelo linear, considerando o primeiro e segundo ciclo.

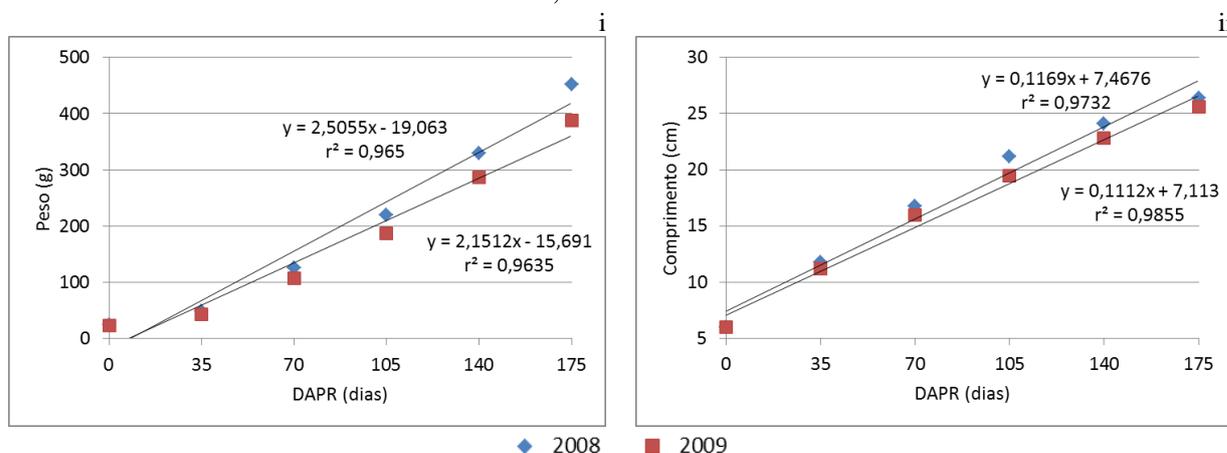
Tabela 27 – Resumo das análises de regressão das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009

Características Morfológicas	Equação	r^2	r
1º Ciclo (2008)			
Peso (g)**	$y = 100,91x - 67,532$	0,9922	0,9961
Comprimento (cm)**	$y = 3,6521x + 9,0819$	0,9740	0,9869
2º Ciclo (2009)			
Peso (g)**	$y = 86,898x - 58,25$	0,9919	0,9959
Comprimento (cm)**	$y = 3,5579x + 8,3372$	0,9898	0,9949

** significância à 1,0 %

Analisando a Figura 41, verifica-se que tanto o peso quanto o comprimento dos peixes cresceram linearmente com aumento dos dias após o povoamento no reservatório. Verifica-se que na 6ª e última biometria (175 dias após o povoamento do reservatório), os peixes atingiram peso e comprimento de 419,40 g e 360,77 g, e, de 27,93 cm e 26,57 cm, respectivamente para o 1º e 2º Ciclo de produção.

Figura 41 – Análises de regressão das características morfológicas dos peixes em função das biometrias realizadas nos ciclos de cultivo, anos de 2008 e 2009



em que: i – Peso dos Peixes, em g; e, ii – Comprimento dos Peixes, em cm.

Em sistema de produção de peixes com preparação do ambiente e manejo extremamente adequado, no ato da realização da última biometria, na semana 25 (175 dias após o povoamento), após o povoamento dos peixes em viveiros fertilizados, os peixes deveriam apresentar aproximadamente 700 g, conforme Oliveira *et al.* (2007). Isso não ocorreu, possivelmente, devido à alta densidade de peixe ultrapassando a capacidade de suporte dos reservatórios. Essa densidade, adotada neste trabalho, de 3 kg de peixe m⁻² é comumente utilizada em cultivos comerciais intensivos, em que toda a atenção e mão-de-obra do empreendimento são voltados para a piscicultura. Por outro lado, é possível que, em algum dia, os peixes não tenham sido alimentados satisfatoriamente; ou, a água não foi suficientemente renovada, por problemas no sistema de abastecimento do reservatório; além de, o sistema de aeração utilizado não ter sido o adequado para cultivos intensivos; o que pode ter contribuído efetivamente para que o potencial produtivo dos peixes não tenha sido alcançado. Segundo Kubitza (2010), o aumento da densidade de estocagem geralmente piora a conversão alimentar, pois reduz a disponibilidade de alimento natural por peixe e acelera a degradação da qualidade da água devido aos maiores níveis de arraçoamento exigidos. Apesar disso, na maior parte do tempo, o manejo dos peixes foi bem executado, gerando resultados significativos de crescimento em ganho de peso e tamanho.

Deve ser considerado, também, que, no trabalho realizado, não foi possível fazer todos os tratamentos nos reservatórios conforme recomendação da Oliveira *et al.* (2007); isso pode ter contribuído consideravelmente para a redução do oxigênio dissolvido na água do reservatório (produzido pelas microalgas do reservatório), afetando significativamente o crescimento dos peixes. A prática da drenagem do reservatório, extremamente necessária e importante para o bom desenvolvimento dos peixes, foi diária, assim como, seu abastecimento subsequente, o que favoreceu a aeração da água. Segundo Azevedo *et al.* (2008), a drenagem intermitente dos viveiros de cultivo de peixe para irrigação melhora a qualidade da água de cultivo, e, conseqüentemente, a sobrevivência de tilápias cultivadas em tanques escavados, podendo ser um fator de economia de água e fertilizantes nos empreendimentos do semiárido nordestino.

5.5.2 Indicadores de desempenho dos peixes

A avaliação do desempenho dos peixes foi feita por meio dos índices: ganho de peso absoluto; o ganho de peso relativo; ganho de comprimento absoluto; ganho de comprimento relativo; fator K de condição; ganho de peso diário médio; taxa de crescimento

específico; taxa de sobrevivência; ganho de biomassa ou biomassa líquida; e, conversão alimentar. Na Tabela 28, estão expostos os valores dos índices de desempenho dos cultivos de tilápia nos anos de 2008 e 2009. Pelas médias absolutas, por indicador, pode-se verificar uma ligeira variação quando comparados os dois ciclos. Chama-se atenção para o ganho de peso absoluto médio de 428 g, em 175 dias de cultivo. O indicador ganho de peso relativo foi de 933 %. Já, o ganho de comprimento absoluto, obtido pela sua diferença desde a entrada dos peixes até a despesca foi de, aproximadamente, 16 cm, sendo o relativo de 139 %.

Tabela 28 – Resumo dos indicadores de desempenho dos cultivos de tilápia nos ciclos e médios, nos anos de 2008 e 2009

Indicadores de Desempenho	Ciclos		Média
	1° (2008)	2° (2009)	
GPA (g)	460,43	395,05	427,74
GPR (%)	938,61	926,77	932,69
GCA (cm)	16,75	15,12	15,93
GCR (%)	142,53	134,83	138,68
K	1,10	1,03	1,07
GPD (g dia ⁻¹)	3,46	2,97	3,22
TCE (% dia ⁻¹)	1,76	1,75	1,76
S (%)	81,38	86,74	84,06
B (g)	2.218.794	1.910.861	2.064.827
CA	2,10	2,24	2,17

em que: GPA é o ganho de peso absoluto; GPR é o ganho de peso relativo; GCA é o ganho de comprimento absoluto; GCR é o ganho de comprimento relativo; K é o fator de condição; GPD é o ganho de peso diário médio; TCE é a taxa de crescimento específico; S é a taxa de sobrevivência; B é a ganho de biomassa ou biomassa líquida; e, CA é a conversão alimentar.

O valor médio do fator de condição alométrico da tilápia, nas condições de cultivo, foi de 1,07. Coda (1996), em cultivo intensivo de tilápia do Nilo, obteve para o fator de condição alométrico valores que variaram de 2,0 a 2,19. Para Leonhardt e Urbinati (1998), quando a disponibilidade de alimento é baixa, o fator de condição geralmente é baixo.

O ganho de peso diário para os ciclos de produção foi de 3,22 g dia⁻¹, enquanto que a taxa de crescimento específica foi de 1,76 % dia⁻¹. Coda (1996), com a mesma espécie, obteve incrementos médios diários de 2,0 g dia⁻¹ em densidade de 3 peixes m⁻², e incremento

de 1,23 g dia⁻¹ na densidade de 5 peixes m⁻². Abalos (1997), em cultivo intensivo de tilápia do Nilo, obteve incrementos em peso que variaram de 0,5 a 0,7 g dia⁻¹.

Um indicador importante é a taxa de sobrevivência dos peixes, pois reflete a condição de bem estar do viveiro. Para esse indicador, os valores obtidos foram de 81,38 % no 1º ciclo de produção e 86,74 % no segundo ciclo. Verifica-se um valor inferior no 1º ciclo, resultado de falhas no manejo dos peixes, como comentado anteriormente.

A conversão alimentar dos peixes foi de 2,17, bem superior a conversão alimentar de 1,96 encontrada em trabalhos realizado por Azevedo *et al.* (2008) em condições de semiárido. Por fim, o ganho de biomassa ou biomassa líquida obtido nos dois cultivos foi de aproximadamente duas toneladas de peixe. Para Lovshin *et al.* (1990), o índice de conversão alimentar mínimo e máximo da tilápia do Nilo, cultivadas em viveiros e alimentadas por peletes flutuantes (extrusados), varia de 2,20 a 2,40, respectivamente.

No geral, os indicadores de desempenho da tilápia nos dois anos de cultivos podem ser considerados satisfatórios, vez que estão dentro dos limites indicados para cultivos comerciais de tilápia, segundo Kubitza (2003).

Resultados semelhantes aos apresentados na Tabela 30 foram encontrados por Azevedo *et al.* (2008), em estudo realizado em Mossoró-RN, testando tipos de ração e tipo de drenagem do viveiro (não drenado e com drenagem intermitente para irrigação), obteve taxa de sobrevivência de 91,59 % em cultivos de tilápia realizados em viveiros com drenagem intermitente para a irrigação. Para esse mesmo sistema de cultivo, com drenagem para irrigação, a conversão alimentar da tilápia foi de 1,96.

Esses resultados demonstram que a integração aquicultura x agricultura irrigada é uma alternativa de sustentabilidade para o rural brasileiro. Nesse mesmo sentido, Dhawan e Sehdev (1994) demonstraram que, na integração da aquicultura com agricultura, a perda de nutrientes e energia para áreas vizinhas é menor que nos sistemas convencionais de monocultura. Além disso, a construção de viveiros em uma propriedade agrícola ajuda na manutenção do lençol freático.

5.5.3 Análise química do efluente da piscicultura

De acordo com a Tabela 29, o pH e a condutividade elétrica (CE) do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira não apresentaram variações consideráveis em função dos dias após o povoamento do reservatório. A variação foi de 6,89 a 8,02 para o pH, e, 0,17 e 0,38 ds m⁻¹ para CE, no primeiro ciclo de produção (ano de 2008). No segundo ciclo,

os valores mínimos e máximos encontrados para o pH e condutividade elétrica foram de, respectivamente, 7,01 e 8,28, e, 0,13 ds m⁻¹ e 0,37 ds m⁻¹. Estando essas duas características dentro da faixa adequada para a tilápia (KUBITZA, 2003).

Tabela 29 – Valores médios de pH e CE do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI

DAPR	1º Ciclo (2008)		2º Ciclo (2009)	
	pH	CE (ds m ⁻¹)	pH	CE (ds m ⁻¹)
0*	6,98	0,17	7,01	0,13
35	8,02	0,38	8,28	0,33
70	6,99	0,39	7,77	0,37
105	7,06	0,35	7,63	0,30
140	7,49	0,37	7,55	0,35
175	7,84	0,30	7,61	0,25
Média	7,40	0,33	7,64	0,29
CV (%)	0,06	0,26	0,05	0,31

em que: DAPR é o n° de dias após o povoamento do reservatório; e, * Coleta da água do reservatório antes do povoamento.

Analisando os parâmetros químicos pH e CE do efluente, com finalidade de irrigação, identifica-se que para todo o período de aplicação do efluente da piscicultura, os níveis obtidos não ultrapassaram os admissíveis.

Quanto ao efeito do pH, que é um indicador da acidez ou da basicidade de uma água ou da solução, a escala normal de água de irrigação varia de 6,5 a 8,4, entretanto, segundo Oliveira e Varela (2005), raramente é um problema por si só. Um valor anormal de pH da água de irrigação pode representar em impacto negativo no equipamento, podendo ser muito corrosiva, e, como tal, corroer rapidamente as tubulações e os equipamentos metálicos. Bem como, pode favorecer a precipitação de determinados componentes químicos da água, ou ainda, o desenvolvimento de microrganismos causadores indiretos de entupimentos dos emissores (OLIVEIRA e VARELA, 2005). De acordo com Ayers e Westcot (1999), a classificação da qualidade da água de irrigação, em termos de perigo potencial de entupimento de gotejadores, é de: baixo perigo de entupimento para pH = 7; moderado perigo de entupimento para 7 < pH < 8; e, severo perigo de entupimento para pH > 8. Dessa forma, analisando o pH do efluente da piscicultura para irrigação, em nenhum momento se mostrou

favorável à corrosão das tubulações e/ou ao entupimento dos emissores, que nesse caso foram microaspersores.

No solo, o pH adequado para o cultivo da goiabeira varia de 5,5 a 6,0. Dessa forma, somente com o valores diretos do pH do efluente não é possível determinar seu uso restritivo para a cultura, necessitando assim da análise auxiliar do solo em questão.

Os valores de CE do efluente estiveram sempre dentro da classe C2 (variando de 0,25 a 0,75 dS m⁻¹), logo, foi classificado como água de média salinidade, podendo ser utilizada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação (AYERS; WESTCOT, 1999).

Quanto aos efeitos dos sais, a cultura da goiabeira é moderadamente sensível à salinidade da água e do solo, sofrendo declínio da sua capacidade produtiva em locais onde a condutividade elétrica da água de irrigação ultrapassa 3,0 dS m⁻¹ (AYERS; WESTCOT, 1999; CAVALCANTE; CAVALCANTE; BECKMANN-CAVALCANTE, 2005). Nesse mesmo sentido, Távora, Pereira e Hernandez (2001), estudando o efeito da salinidade em diferentes estádios de desenvolvimento da goiabeira, identificaram maior sensibilidade das plantas jovens aos sais do que as demais fases de crescimento, onde, naquela fase inicial, a cultura não tolera CE superior 1,20 dS m⁻¹, sem perda da qualidade das mudas. De acordo com os resultados, os níveis de CE do efluente se mantiveram muito abaixo do valor limite que afeta a capacidade produtiva da goiabeira, podendo assim ser utilizado, segundo as condições de cultivo, sem prejuízos a cultura.

Na Tabela 30, estão presentes os valores médios de concentração de cátions e ânions do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, em função dos dias após o povoamento do reservatório com peixes. A variação da concentração de cátions e ânions foi de: 0,14 a 0,57 mmol_c de K⁺ dm⁻³; 1,13 a 1,42 mmol_c de Ca²⁺ dm⁻³; 0,96 a 1,56 mmol_c de Mg²⁺ dm⁻³; 0,31 a 2,84 mmol_c de Na⁺ dm⁻³; 0,28 a 0,51 mmol_c de HCO₃⁻ dm⁻³; 0,00 a 0,11 mmol_c de CO₃²⁻ dm⁻³; e, 0,18 a 2,03 mmol_c de Cl⁻ dm⁻³, considerando os dois anos em questão. Essas características estão dentro da faixa adequada para a tilápia (KUBITZA, 2003).

Dentre os cátions e ânions analisados, os que mais apresentam concentrações que pudessem causar efeito tóxico às plantas são Na⁺ e Cl⁻. De acordo com Ayers e Westcot (1999), a água de irrigação pode ser classificada quanto à toxicidade dos íons Na⁺ e Cl⁻ em: baixo a moderado > 3 mmol_c dm⁻³; nenhum < 3 mmol_c dm⁻³. Logo, o efluente da piscicultura, nas condições estudadas, apresentou valores muito abaixo do limite superior do menor grau de restrição (nenhuma restrição), podendo assim ser utilizado sem restrições na irrigação da goiabeira.

Castro, Azevedo e Barbosa (2005), caracterizando os efeitos do efluente de viveiro de cultivo da tilápia do nilo e de água de poço na irrigação do tomate cereja, em Mossoró-RN, obtiveram os seguintes valores médios na análise química do efluente: pH de 8,5; CE de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$; $0,34 \text{ mmol}_c \text{ de K}^+ \text{ dm}^{-3}$; $1,40 \text{ mmol}_c \text{ de Ca}^{2+} \text{ dm}^{-3}$; $1,00 \text{ mmol}_c \text{ de Mg}^{2+} \text{ dm}^{-3}$; $3,84 \text{ mmol}_c \text{ de Na}^+ \text{ dm}^{-3}$; $3,30 \text{ mmol}_c \text{ de HCO}_3^- \text{ dm}^{-3}$; $0,80 \text{ mmol}_c \text{ de CO}_3^{2-} \text{ dm}^{-3}$; e, $3,20 \text{ mmol}_c \text{ de Cl}^- \text{ dm}^{-3}$. Quando comparados aos valores máximos encontrados no estudo ora apresentado, verifica-se similaridade na maior parte dos parâmetros químicos do efluente.

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 31, que trata dos valores médios de concentração dos compostos nitrogenados e fosfatados do efluente, em função dos dias após o povoamento do reservatório, percebe-se um incremento nesses valores em função do tempo. A variação da concentração desses compostos foi de: 0 a $2.010 \text{ } \mu\text{g amônia L}^{-1}$; 0 a $81 \text{ } \mu\text{g de nitrito L}^{-1}$; 0 a $110 \text{ } \mu\text{g de nitrato L}^{-1}$; 0 a $2.143 \text{ } \mu\text{g de N total L}^{-1}$; e, 50 a $560 \text{ } \mu\text{g de ortofosfato L}^{-1}$, considerando os dois anos em questão. Essas variações estão dentro da faixa adequada para a tilápia (KUBITZA, 2003).

Ayers e Westcot (1999) classificam os graus de restrição no uso das águas de irrigação segundo o teor de nitratos em: severo $> 30 \text{ mg de NO}_3\text{-N L}^{-1}$; baixo a moderado $5\text{-}30 \text{ mg de NO}_3\text{-N L}^{-1}$; nenhum $< 5 \text{ mg de NO}_3\text{-N L}^{-1}$. Logo, o efluente da piscicultura, nas condições estudadas, apresentou valores muito abaixo do limite superior do menor grau de restrição (nenhuma restrição), podendo assim ser utilizado sem restrições na irrigação da goiabeira.

O ortofosfato é a forma de fosfato mais prontamente disponível para ser utilizada pelas plantas. Sipaúba-Tavares (2004) relata que todo fósforo no ecossistema aquático está na forma de fosfato, sendo o ortofosfato o mais comum. Do ponto de vista limnológico, todas as formas ou frações de fosfato são importantes, no entanto, o fosfato inorgânico dissolvido (ou ortofosfato, ou fosfato reativo) é o mais importante por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos. Dessa maneira, a sua quantificação em pesquisas limnológicas torna-se indispensável. Na água, o ortofosfato pode estar sob diferentes espécies iônicas em função do pH do meio: H_3PO_4 , H_2PO_4^- , $\text{HPO}_4^{=}$ e PO_4^{3-} . As águas continentais do Brasil possuem a faixa de pH mais frequente situada entre 5 e 8, as formas iônicas predominantes são H_2PO_4^- e $\text{HPO}_4^{=}$ (GOUVEIA *et al.*, 2007).

Tabela 30 – Valores médios de concentração de cátions e ânions do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI

DAPR	1º Ciclo (2008)							2º Ciclo (2009)						
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻
	(mmolc dm ⁻³)													
0*	0,16	1,20	1,13	1,34	0,30	0,00	0,18	0,14	1,18	1,18	1,32	0,28	0,00	0,23
35	0,16	1,25	1,10	2,84	0,48	0,16	1,90	0,14	1,23	1,15	2,82	0,46	0,11	1,95
70	0,20	1,20	1,01	2,08	0,45	0,00	1,98	0,18	1,18	1,06	2,06	0,43	0,00	2,03
105	0,21	1,15	0,96	1,40	0,48	0,00	0,40	0,19	1,13	1,01	1,38	0,46	0,00	0,45
140	0,45	1,38	1,41	0,35	0,50	0,00	0,37	0,43	1,36	1,46	0,33	0,48	0,00	0,42
175	0,57	1,42	1,51	0,33	0,51	0,00	0,40	0,55	1,40	1,56	0,31	0,49	0,00	0,45
Média	0,29	1,27	1,19	1,39	0,45	0,03	0,87	0,27	1,25	1,24	1,37	0,43	0,02	0,92
CV (%)	0,60	0,09	0,19	0,70	0,17	2,45	0,95	0,64	0,09	0,18	0,71	0,18	2,45	0,90

em que: DAPR é o n° de dias após o povoamento do reservatório; e, * Coleta da água do reservatório antes do povoamento.

Tabela 31 – Valores médios de concentração de compostos nitrogenados e fosfatado, do efluente da piscicultura utilizado na irrigação da goiabeira, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI

DAPR	1º Ciclo (2008)					2º Ciclo (2009)				
	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N total	ortofosfato	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N total	ortofosfato
	(µg L ⁻¹)									
0*	0	10	10	20	150	0	0	0	0	50
35	1.400	27	76	1.503	513	1.330	17	96	1.443	453
70	1.850	20	52	1.922	339	1.780	10	72	1.862	279
105	1.480	64	73	1.617	509	1.410	54	93	1.557	539
140	1.880	81	90	2.051	445	1.810	71	110	1.991	475
175	2.010	60	73	2.143	560	1.940	50	93	2.083	500
Média	1.437	44	62	1.543	419	1.378	34	77	1.489	383
CV (%)	0,52	0,65	0,46	0,51	0,36	0,52	0,84	0,51	0,52	0,49

em que: DAPR é o n° de dias após o povoamento do reservatório; e, * Coleta da água do reservatório antes do povoamento.

Costa *et al.* (2008), ao estudar a concentração de ortofosfato, amônia, nitrito e nitrato no cultivo de camarões, utilizando dietas com diferentes níveis de proteína vegetal e animal, obteve valores máximos de concentrações de amônia, nitrito, nitrato e ortofosfato, ao final do cultivo, de $95 \mu\text{g L}^{-1}$, $250 \mu\text{g L}^{-1}$, $105 \mu\text{g L}^{-1}$ e $75 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. No cultivo em questão, com a tilápia, os valores dessas concentrações diferiram consideravelmente, principalmente, da amônia e do ortofosfato, sendo superior em mais de 1.500 % e 500 %, respectivamente.

Em estudos realizados no México, acompanhando dois ciclos de cultivo de camarões com densidades médias de 17 camarões m^{-2} , taxas de renovação de 3 a 20 % e uso de alimento artificial, foi demonstrada a responsabilidade dos sistemas de produção semintensivos por incrementos consideráveis de: sólidos totais suspensos, fósforo disponível, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, dentre outros. Concluíram, ainda, que, no caso do fósforo, 83,4 % são provenientes dos alimentos artificiais (rações), onde apenas 6,1 % do fósforo contido na ração são incorporados à biomassa de camarão e 30,3 % são perdidos para o ambiente através dos efluentes (PÁEZ-OSUNA *et al.*, 1997, 1998, 1999). Neste sentido, Velasco, Lawrence e Castille (1999); Lawrence, Velasco e Castille (2003) verificaram que o acúmulo de fósforo total é prejudicial à produção dos animais na aquicultura. Relataram ainda que as rações têm sido identificadas como o poluente mais importante na composição dos efluentes.

Azevedo *et al.* (2008) avaliaram que a qualidade da água foi, provavelmente, o fator de maior influência na alta taxa de mortalidade apresentada nos viveiros, em estudo realizado com diferentes tipo de ração e intermitências de irrigação, em Mossoró-RN, onde a água não era drenada para irrigação, reflexo do acúmulo de altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados.

Dentre as várias fontes de contaminação das águas, a proveniente da criação de peixes tem chamado atenção de pesquisadores em todo o mundo. Segundo Silva (2008), o lançamento de efluentes provenientes das atividades de piscicultura em corpos hídricos, sem que haja um tratamento prévio, aumenta os níveis de fósforo e nitrogênio, presentes nos excretas dos peixes e nas rações que os alimentam. Além disso, a qualidade das águas é bastante afetada pela introdução de matéria orgânica, principalmente durante os períodos de despesca.

Dessa forma, para minimizar os conflitos pelo uso da água e o impacto ambiental da descarga dessas águas ricas em nutrientes no meio ambiente, a integração aquicultura

agricultura mostra-se como uma importante alternativa. Essa integração visa a sustentabilidade no meio rural, principalmente em regiões semiáridas, onde os recursos hídricos são cada vez mais escassos. De acordo com Olsen, Fitzsimmos e Moore (1993), a forma mais eficiente de promover a integração entre a aquicultura e a agricultura é aquela em que a água utilizada para irrigação das culturas seja proveniente do cultivo de peixes.

Com isso, verifica-se que a irrigação da goiabeira e/ou outras culturas, utilizando o efluente da criação de tilápia e/ou da piscicultura com outras espécies, realizada em viveiros (tanques escavados), reduz o impacto ambiental da descarga de águas ricas em nutrientes nos corpos hídricos ou a necessidade de tratamento desses. Observações semelhantes foram encontradas por Billard e Servrin-Reyssac (1992), Castro, Azevedo e Barbosa (2005), Lima *et al.* (2008), Santos (2009), Júnior (2011) e Gomes, Júnior e Brito (2012).

Por meio da concentração dos compostos nitrogenados e fosfatados do efluente da piscicultura e da lâmina de efluente aplicada via irrigação à goiabeira, foi possível calcular a quantidade de nutrientes aplicados. Nas Tabelas 32 e 33, pode ser visualizada a quantidade de compostos nitrogenados e fosfatados aplicados por planta de goiabeira, por ciclo de cultivo da tilápia. Vale ressaltar que o período considerado foi somente o de aplicação de efluente, logo do mês de junho a início de dezembro.

Na Tabela 32, percebe-se que foram aplicados 8,30 g de N planta⁻¹ na menor lâmina de irrigação (199 mm), enquanto que, para a maior lâmina (889 mm), foram aplicados 38,06 g de N planta⁻¹, no ano de 2008. No ano seguinte (2º Ciclo), foram aplicados na menor lâmina de irrigação (160 mm), 6,77 g de N planta⁻¹ e na maior lâmina (734 mm), 31,23 g de N planta⁻¹. Vale ressaltar que a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura da goiabeira em seu segundo ano de cultivo é de 200 g de N planta⁻¹. Logo, com a aplicação de 889 mm do efluente da piscicultura, aproximadamente 16 % do nitrogênio demandado pela cultura estariam sendo supridos ou ofertados via água de irrigação.

Com relação ao fósforo, foram aplicados 2,23 g de P₂O₅ planta⁻¹ na menor lâmina de irrigação (199 mm), enquanto que, para a maior lâmina (889 mm), foram aplicados 9,96 g de P₂O₅ planta⁻¹, no ano de 2008. No ano seguinte (2º Ciclo), foram aplicados na menor lâmina de irrigação (160 mm) 1,70 g de P₂O₅ planta⁻¹ e na maior lâmina (734 mm) 7,87 g de P₂O₅ planta⁻¹ (Tabela 35). Segundo a recomendação para a cultura da goiabeira, deve ser aplicado em seu segundo ano de cultivo 100 g de P₂O₅ planta⁻¹. Logo, com a aplicação de 889 mm do efluente da piscicultura, aproximadamente 10 % do fósforo demandado pela cultura estariam sendo supridos ou ofertados via água de irrigação.

Tabela 32 – Quantidade de nitrogênio aplicado via irrigação, advindo dos efluentes da piscicultura, por tratamento, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI

DAPR	1º Ciclo (2008)						2º Ciclo (2009)					
	Lâmina (mm)											
	199	338	475	612	751	889	160	276	390	505	620	734
	N Total (g planta ⁻¹)											
0*	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,93	1,74	2,56	3,41	4,22	5,04	0,67	1,26	1,90	2,53	3,12	3,76
70	1,39	2,72	4,01	5,30	6,59	7,93	1,01	2,06	3,07	4,08	5,14	6,14
105	1,29	2,50	3,71	4,92	6,13	7,34	0,92	1,85	2,73	3,61	4,54	5,42
140	1,74	3,49	5,18	6,93	8,62	10,36	1,54	3,03	4,52	5,95	7,44	8,93
175	2,93	3,81	4,70	5,47	6,46	7,35	2,63	3,49	4,35	5,26	6,12	6,98
Total	8,30	14,29	20,19	26,06	32,06	38,06	6,77	11,69	16,56	21,44	26,36	31,23

em que: DAPR é o nº de dias após o povoamento do reservatório; e, * Coleta da água do reservatório antes do povoamento.

Tabela 33 – Quantidade de fósforo aplicado via irrigação, advindo dos efluentes da piscicultura, por tratamento, nos ciclos de cultivo (2008 e 2009), em Santa Rosa do Piauí - PI

DAPR	1º Ciclo (2008)						2º Ciclo (2009)					
	Lâmina (mm)											
	199	338	475	612	751	889	160	276	390	505	620	734
	Ortofosfato (g planta ⁻¹)											
0*	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09
35	0,32	0,60	0,87	1,16	1,44	1,72	0,21	0,40	0,60	0,79	0,98	1,18
70	0,24	0,48	0,71	0,94	1,16	1,40	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92
105	0,41	0,79	1,17	1,55	1,93	2,31	0,32	0,64	0,94	1,25	1,57	1,88
140	0,38	0,76	1,12	1,50	1,87	2,25	0,37	0,72	1,08	1,42	1,78	2,13
175	0,77	1,00	1,23	1,43	1,69	1,92	0,63	0,84	1,04	1,26	1,47	1,68
Total	2,23	3,78	5,32	6,85	8,41	9,96	1,70	2,94	4,17	5,40	6,64	7,87

em que: DAPR é o nº de dias após o povoamento do reservatório; e, * Coleta da água do reservatório antes do povoamento.

Considerando hipoteticamente dois ciclos de produção de tilápia por ano (absolutamente possível, se os alevinos utilizados no povoamento do reservatório apresentarem idade mais avançada, entre a 9ª e a 10ª semana) e que toda a água aplicada à cultura fosse via água de irrigação (desconsiderando assim a precipitação), é provável que os quantitativos aplicados de nitrogênio e fósforo fossem dobrados. Logo, seria demanda uma menor quantidade de adubo comercial.

A aplicação de nutrientes via água de irrigação, ou fertirrigação, é uma prática empregada na agricultura irrigada, constituindo-se o meio mais eficiente de nutrição, pois combina dois fatores essenciais para o crescimento, desenvolvimento e produção: a água e os nutrientes (PAPADOPOULOS, 2001; BORGES, 2004). Além disso, permite flexibilizar a aplicação dos nutrientes, que pode ser fracionada segundo a marcha de absorção da cultura nos seus diferentes estádios (SOUSA e SOUSA, 1998). Dessa forma, aplicação de efluentes da piscicultura às culturas não deixa de ser uma fertirrigação, podendo ser considerada como biofertilização (EMBRAPA, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Ao considerar os resultados dos parâmetros químicos do efluente da piscicultura, nas condições de cultivo, percebe-se a possibilidade de o mesmo ser utilizado na irrigação sem prejuízo à capacidade produtiva das culturas, haja vista que os valores limites inferiores e superiores admissíveis pelas plantas de cada parâmetro estão sendo respeitados. Além disso, o efluente aplicado contribui significativamente para o crescimento e para a produção das culturas. Contudo, visando a não contaminação do solo e das águas subterrâneas, alguns cuidados devem ser tomados, por exemplo: aplicar o efluente somente na camada da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura a ser irrigada, e, conhecer a flutuação do lençol freático no solo, monitorando-o se necessário.

5.5.4 Efeito do efluente sobre as características químicas do solo

Na Tabela 34, consta um comparativo entre as análises químicas do solo antes da irrigação com o efluente da piscicultura (junho de 2008) e após o final do experimento. Vale ressaltar que a amostragem realizada no final do experimento ocorreu no tratamento T4 (100 % da ETo).

Analisando os dados, verifica-se que houve acréscimo em praticamente todas as características químicas do solo, sendo exceção: magnésio, na camada de 0,40 m - 0,60 m; alumínio, nas camadas de 0,00 m - 0,20 m e 0,40 m - 0,60 m; hidrogênio + alumínio, na

camada de 0,40 m - 0,60 m; saturação por bases, na camada de 0,20 m - 0,20 m; e, saturação por ácidos, nas três camadas estudadas.

A matéria orgânica obteve um incremento de 8,69 g kg⁻¹; 3,90 g kg⁻¹; e, 0,60 g kg⁻¹ nas camadas de 0,00 m - 0,20 m, 0,20 m - 0,40 m e 0,40 m - 0,60 m, respectivamente. Esses valores corresponderam a incrementos de 208 %, 99 % e 16 % de matéria orgânica no solo em dois anos de aplicação do efluente. Considera-se um aumento muito importante, haja vista que por dois anos a cultura também absorveu nutrientes do solo, e, mesmo assim, houve incremento de matéria orgânica no solo. Esse aumento de matéria orgânica é reflexo da considerável quantidade de compostos nitrogenados do efluente da piscicultura.

O mesmo ocorreu para o nutriente fósforo, que na camada de 0,00 m - 0,20 m de solo, chegou a apresentar no final do experimento um expressivo incremento de 96,70 mg fósforo dm⁻³. Na camada de 0,20 m - 0,40 m, onde há a maior ocorrência de raízes, esse incremento foi bastante inferior, chegando a 5,80 mg de P₂O₅ dm⁻³. Assim como a camada mais superficial, a mais profunda (0,40 m - 0,60 m) também apresentou um incremento considerável, com 44,30 mg de P₂O₅ dm⁻³. Esses resultados são extremamente significativos, pois a aplicação comprova que o efluente ampliou a quantidade de fósforo no solo em uma magnitude bastante expressiva.

Em geral, pode-se considerar que o efluente da piscicultura foi responsável pela melhoria da fertilidade constatada nas análises da Tabela 34. Assim, a aplicação da irrigação do efluente da piscicultura além de influenciar positivamente no crescimento e na produção da goiabeira, evitar acidentes ambientais pelo não desague do efluente em corpos hídricos, também possibilita uma melhoria na fertilidade do solo. Essa melhoria na fertilidade do solo resultará em redução de aplicação de fertilizantes comerciais, e, conseqüentemente, em redução nos custos de produção da goiabeira.

Oliveira *et al.* (2008), estudando alterações nos teores de cálcio, magnésio e potássio de um argissolo vermelho-amarelo irrigado com efluente da piscicultura, obtiveram resultados semelhantes a este estudo, em que os teores de magnésio e potássio aumentaram com a aplicação do efluente. Os autores citados, concluem que o efluente da piscicultura é uma alternativa viável para as condições de semiárido, uma vez que a maioria dos solos dessa região é pobre em nutrientes, e a adição dos nutrientes presentes no efluente funciona como uma fertirrigação. Embrapa (2007) fez comentário semelhante.

Tabela 34 – Comparativo entre a análise química do solo antes da irrigação com o efluente da piscicultura e depois do final do experimento, Santa Rosa do Piauí – PI (2008-2009)

Característica	Unidade	Início do experimento (I)			* Final do experimento (F)			D = F – I		
		Profundidade (m)								
		0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
Matéria Orgânica	g kg ⁻¹	4,18	3,93	3,74	12,87	7,83	4,34	8,69	3,90	0,60
pH	-	5,59	6,20	5,24	6,19	6,71	6,70	0,60	0,51	1,46
Fósforo	mg dm ⁻³	7,70	41,2	1,10	104,40	47,00	45,40	96,70	5,80	44,30
Potássio	cmol _c dm ⁻³	0,29	0,30	0,24	1,10	0,60	0,30	0,81	0,30	0,06
Cálcio	cmol _c dm ⁻³	0,92	1,10	0,37	3,34	2,21	0,98	2,42	1,11	0,61
Magnésio	cmol _c dm ⁻³	0,56	0,93	0,76	1,19	1,14	0,03	0,63	0,21	-0,73
Sódio	cmol _c dm ⁻³	0,48	0,43	0,26	1,10	0,60	0,40	0,62	0,17	0,14
Alumínio	cmol _c dm ⁻³	0,13	0,02	0,95	0,00	0,02	0,01	-0,13	0,00	-0,94
Hidrogênio + alumínio	cmol _c dm ⁻³	1,67	1,09	2,74	5,33	2,64	2,23	3,66	1,55	-0,51
S	cmol _c dm ⁻³	1,85	2,46	1,48	6,73	4,55	1,71	4,88	2,09	0,23
CTC	cmol _c dm ⁻³	3,52	3,55	4,22	12,06	7,19	6,07	8,54	3,64	1,85
V	%	52,61	69,32	35,08	55,81	63,28	61,08	3,20	-6,04	26,00
M	%	6,57	0,81	39,09	0,00	0,44	0,35	-6,57	-0,37	-38,74

em que: S é a soma de bases; CTC é a capacidade de troca de cátions; V é a saturação por bases; M é a saturação por ácidos; *Amostragem do final do experimento, realizada na área das parcelas úteis do tratamento T4.

5.5.5 Redução na aplicação de fertilizantes

Na Tabela 35 e 36, visualiza-se a redução de aplicação dos fertilizantes comerciais (ureia e superfosfato simples) com a aplicação das lâminas médias de efluente aplicadas no 1º e 2º Ciclo de cultivo da goiabeira e seu aporte de nitrogênio e fósforo, por planta.

Considerando a recomendação de adubação descrita no material e métodos, verifica-se que, com a aplicação de uma lâmina de 812 mm, será possível reduzir 35 %, 17 % e 9 % da quantidade de ureia recomendada, e, 5 %, 9 % e 4 % da quantidade do superfosfato simples recomendado. Essa economia na aplicação de fertilizante é diretamente proporcional à redução de custos de produção da cultura.

Tabela 35 – Redução na aplicação de ureia, considerando o aporte de nitrogênio do efluente da piscicultura de um ciclo

Adubação	Recomendação de adubação g ureia planta ⁻¹	Redução na aplicação de ureia (%)					
		Lâminas de Irrigação (mm) *					
		180	307	433	559	686	812
1º ano	222	7,53	12,99	18,37	23,75	29,21	34,64
2º ano	444	3,77	6,50	9,19	11,87	14,61	17,32
3º ano	889	1,88	3,25	4,59	5,94	7,30	8,66

em que: * é a Lâmina média aplicada com efluente da piscicultura por ciclo de cultivo da tilápia.

Tabela 36 – Redução na aplicação de superfosfato simples (S.S.), considerando o aporte de fósforo do efluente da piscicultura de um ciclo

Adubação	Recomendação de adubação g S.S. planta ⁻¹	Redução na aplicação de superfosfato simples (%)					
		Lâminas de Irrigação (mm) *					
		180	307	433	559	686	812
1º ano	900	1,09	1,87	2,64	3,40	4,18	4,95
2º ano	500	1,97	3,36	4,74	6,12	7,52	8,91
3º ano	1.000	0,98	1,68	2,37	3,06	3,76	4,46

em que: * é a Lâmina média aplicada com efluente da piscicultura por ciclo de cultivo da tilápia.

Dessa maneira, nos três primeiros anos de cultivo da goiabeira, deixariam de ser aplicados 66 kg de ureia e 38 kg de superfosfato simples. Considerando os valores de R\$ 4,80 kg⁻¹ de ureia e R\$ 4,32 kg⁻¹ de superfosfato simples, essa redução na quantidade aplicada de fertilizantes comerciais resultaria em uma economia de R\$ 482,02, aproximadamente 3 % do valor total.

Ghate e Burtle (1993) determinaram que a quantidade média aplicada de nitrogênio via irrigação com efluente do cultivo de bagre em canais de irrigação foi de 0,38 kg ha⁻¹ a 0,57 kg ha⁻¹, logo, uma redução de 1,87 a 2,85 kg de ureia ha⁻¹. No estudo em

questão, os valores encontrados foram superiores, chegando a uma economia máxima de 21,99 kg ureia ha⁻¹ e 12,76 kg S.S. ha⁻¹.

A fertirrigação tem se apresentado como a técnica mais adequada para fracionar a dose dos nutrientes em várias aplicações durante o ciclo da cultura, reduzindo as perdas de adubos. A economia de fertilizantes pode ser da ordem de 25 a 50 % por meio da fertirrigação (HAYNES, 1985). Assim como a fertirrigação, a aplicação de efluente da piscicultura se mostra como uma ótima alternativa de economia de fertilizantes.

5.6 Avaliação financeira do uso múltiplo de água na irrigação da goiabeira e produção de tilápia

Na Tabela 37, podemos visualizar o Custo Total (C_{fx}) de produção da goiabeira com três anos de idade, para o município de Santa Rosa do Piauí-PI, no ano de 2009.

Tabela 37 – Custo total (C_{fx}) de produção da goiabeira com três anos de idade, Santa Rosa do Piauí-PI, 2009

Discriminação	unid.	Valor Unitário (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)
1. Insumos				
– Ureia	kg	4,80	254	1.220,42
– Super fosfato simples	kg	4,32	286	1.235,52
– Sulfato de potássio	kg	7,12	254	1.810,29
– Inseticidas/fungicidas	kg L ⁻¹	55,40	55,4	3.069,16
– Espalhante adesivo	L	8,00	8	64,00
			Subtotal	7.399,39
2. Tratos Culturais				
– Capinas	H/D	15,00	20	300,00
– Roçagem	H/M	30,00	8	240,00
– Adubação (fósforo)	H/D	15,00	8	120,00
– Aplicação defensivos	H/D	15,00	15	225,00
– Manejo da irrigação e fertirrigação	H/D	15,00	40	600,00
– Poda de frutificação	H/D	15,00	25	375,00
			Subtotal	1.860,00
3. Colheita	H/D	15,00	25	375,00
			Custo Total – C_{fx}	9.634,39

fonte: pesquisa de preço local

Para determinar os custos que dependem diretamente da quantidade de água aplicada, utilizou-se os seguintes indicadores técnicos e financeiros:

– Tempo necessário p/ irrigar 1,0 m³ = 0,08 h

- Potência do motor (bomba) = 25 c.v.
- Custo da energia = R\$ 0,17 kW⁻¹ h⁻¹
- Custo da água = R\$ 0,07 m⁻³

Considerando os valores acima, obteve-se um valor de custos que dependem diretamente da quantidade de água aplicada – $C_w = \text{R\$ } 0,33 \text{ m}^{-3}$. A quantidade de água aplicada foi de $w = 11.700 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$. Essa quantidade de água aplicada é a média utilizada para o tratamento T6 nos dois anos (2008 e 2009) de cultivo da goiabeira do experimento em questão.

Utilizando os dados de tempo necessário para irrigar, da potência do motor, do custo de energia e do custo da água, calculou-se o custo total de produção da cultura irrigada, que foi de $(C_{(w)}) = \text{R\$ } 13.468,51 \text{ ha}^{-1}$.

Considerando dois ciclos de produção de tilápia em um ano e com a aplicação da lâmina de efluente da piscicultura supracitada, obtém-se uma redução na aplicação de 44,04 kg ureia ha⁻¹ e 25,49 kg S.S. ha⁻¹. Os custos dos fertilizantes (Tabela 39) ureia e superfosfato simples são de R\$ 4,80 kg⁻¹ e R\$ 4,32 kg⁻¹, respectivamente. Logo, com o benefício da redução de aplicação de fertilizantes comerciais de $(c_f \times q_f) = \text{R\$ } 321,49 \text{ ha}^{-1}$, o custo total de produção com o uso múltiplo de água é de $b_{(wm)} = \text{R\$ } 13.147,02 \text{ ha}^{-1}$.

Utilizando os dados de produção de tilápia para dois ciclos (4,438 t) e o preço de comercialização da produção de tilápia de R\$ 4,00 kg⁻¹, obtém-se uma receita bruta de R\$ 17.750,35. Os custos de produção (compra de alevinos + frete dos alevinos + ração comercial = mão-de-obra) da tilápia foram estimados em R\$ 10.650,21 (aproximadamente 60 % da receita bruta). Assim, a receita líquida obtida com a comercialização da produção de tilápia foi de $R_{(p)} = \text{R\$ } 7.100,14$.

Já para a receita bruta obtida da produção de goiaba, considerando duas colheitas por ano (10,609 t) e o preço de comercialização da produção de goiaba de R\$ 0,70 kg⁻¹, obtém-se uma receita bruta de $R_{(g)} = \text{R\$ } 7.426,30$.

A receita total de produção com o uso múltiplo de água ($R_{(t)}$), calculada pelo somatório da receita bruta obtida com a comercialização da goiaba e receita líquida obtida com a comercialização dos peixes, e, subtraído do custo total de produção com o uso múltiplo de água, é de $R_{(t)} = \text{R\$ } 1.379,07$. A receita total calculada foi positiva, logo, com o sistema produtivo integrado goiaba/tilápia se obtém lucro.

É verdade dizer que o lucro obtido foi de magnitude pouco considerável. Entretanto, isso foi reflexo da baixa produtividade da goiabeira obtida, pois, como comentado anteriormente, as plantas do experimento se apresentavam ainda no estágio de crescimento

vegetativo e não haviam atingido a estabilização da produção. De acordo com Gonzaga Neto (1990), a goiabeira cultivada com irrigação e com poda apresenta produtividade variando de 40 a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹, entretanto, em cultivos comerciais, a média é de 30 t ha⁻¹ ano⁻¹. Com uma produtividade de 30,000 t ha⁻¹, a receita total de produção com o uso múltiplo de água seria de – $R_{(t)} = R\$ 35.953,12$.

Segundo Dhwan e Sehdev (1994) a integração agricultura-piscicultura favorece a maximização dos lucros quando se utiliza no empreendimento duas ou mais técnicas de produção. Pelos resultados apresentados, percebe-se uma maximização da receita da goiabeira irrigada devida a receita da comercialização dos peixes e da redução dos custos com fertilizante.

Os resultados alcançados corroboram com o entendimento de Santos (2009), haja vista que, em se tratando de integração agricultura-piscicultura, o principal benefício econômico é claramente a produção e a comercialização de peixes, sem qualquer aumento no consumo de água. Paralelamente, a integração promove um ganho ambiental considerável, e em menor proporção uma redução nos custos, devido o aproveitamento dos efluentes do cultivo de peixes, ricos em nutrientes.

6 CONCLUSÕES

- Nas condições de realização deste trabalho, as características de crescimento da goiabeira apresentaram um comportamento linear com o incremento da lâmina de irrigação de efluente da piscicultura.
- As características de produção e de qualidade física de frutos da goiabeira tendem a aumentar linearmente com o incremento da lâmina de irrigação de efluente da piscicultura.
- A produtividade total da goiabeira aumenta linearmente com a elevação das lâminas de irrigação de efluente da piscicultura, até a produtividade de 6.537 kg ha^{-1} , para lâmina de 1.059 mm por ano.
- O nível de irrigação correspondente a 150% da ET_o , para as condições estudadas, propiciou melhores condições para o desenvolvimento e produção da goiabeira.
- A distribuição do sistema radicular da goiabeira foi influenciada pela lâmina de irrigação de efluente da piscicultura aplicada.
- O déficit hídrico provocado pela aplicação de menores lâminas de irrigação induz a elevação do crescimento das raízes da goiabeira, tanto no sentido horizontal quanto no vertical.
- A adição de nutrientes ao solo por meio da aplicação 559 mm ano^{-1} do efluente da piscicultura tende a reduzir a aplicação de nutrientes (N e P_2O_5) necessários ao desenvolvimento e à produção da goiabeira.
- O uso múltiplo de água, resultado da integração agricultura-piscicultura, favorece o desenvolvimento de plantas da goiabeira, otimiza o uso da água e reduz custos de produção do sistema.

REFERÊNCIAS

- ABALOS, T. U. **The aquaculture engineering design of a freshwater recirculating system for intensive culture of tilapia *Oreochromis niloticus***. In: WORLD AQUACULTURE 97, 28, Seattle, Washington, U.S.A. 1997. Abstracts... Louisiana State University, Baton Rouge, LA, U.S.A. p.1.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 290p. (FAO irrigation and Drainage Paper, 56).
- AZEVEDO, C. M. S. B.; SIMÃO, B. R.; ALMEIDA, C.; SILVA, J. F.; COSTA, M. P. **Desempenho produtivo de tilápias em viveiros intermitentemente drenados para irrigação**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 29-35, jan./mar. 2008.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153 p.
- BABU, K. D.; SINGH, A.; YADAV, E. 2007. Performance evaluation of red and white flesh guava hybrids under midhill altitude of meghalaya. **Acta Hort.** (ISHS) 735:95-98
Disponível em: < http://www.actahort.org/books/735/735_11.htm>. Acesso em: 12 nov. 2012.
- BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; TARGINO, E. L.; MAIA, J. L. T.; FERREIRA, M. N. L. Parâmetros para o manejo de irrigação da goiabeira no Vale do São Francisco. Artigo técnico In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002 (CD-ROM).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 2006, 611.p.
- BILLARD, R.; SERVRIN-REYSSAC, J. Les impacts négatifs et positifs de la pisciculture d'étang sur l'environnement. In: BARNABÉ, G.; KESTEMONT, P. (Eds.) Production, Environment and Quality: **Proceedings of the International Conference Bordeaux Aquaculture '92**. Bordeaux: European Aquaculture Society, 1993. p.17-29. (Special publication).
- BORGES, A. L. **Recomendação de adubação para o maracujazeiro**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004, 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 107).
- BOYD, C. E. **Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level**. Aquaculture n. 226, p. 101-112, 2003.
- CARVALHO, M. A. R.; LEAO, M. C. S.; CARVALHO, L. C. C.; SOUZA, F.; AGUIAR, J. V. Coeficiente de cobertura (Kr) em fruteiras tropicais adultas microirrigadas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n.1, p.20-23, 2007.
- CARVALHO, C. M. DE; ELOI, W. M.; LIMA, S. C. R. V.; PEREIRA, J. M. G. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, v. 11, n. 1, janeiro-março, 2006.

- CASTRO, R. S.; AZEVEDO, C. M. da S. B.; BARBOSA, M. R. Efeitos de efluente de viveiro de piscicultura e de água de poço na irrigação do tomate cereja, cultivado em diferentes níveis de adubação orgânica. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.3, p.396-399, 2005.
- CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; HU, Y.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. Water salinity and initial development of four guava (*Psidium guajava* L.) cultivar in north-eastern Brazil. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, **Skieniewice**, v. 15, p. 71-80, 2007.
- CHAVES, S. W. P.; SILVA, I. J. O. da. Integração da piscicultura com a agricultura irrigada. **Thesis**. Ano 3, v. 6, 2º semestre, p. 9-17, 2006.
- CHIRINOS-TORRES, D.; LARREAL, M. M.; PALMAR, C. G.; LARA, C. Crecimiento y producción de plantas de guayabo (*Psidium guajava* L.) bajo riego e incidencia de frutos enfermos. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.23, p.60-69, 2006.
- CHITARRA, M. I. F. **Colheita e qualidade pós-colheita de frutas**. Informe Agropecuário, v.17, n.179, p.8-18, 1994.
- CODA, S. **Cultivo intensivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) revertida sexualmente em duas densidades de estocagem**. Londrina, 1996. 67 p. Dissertação (Bacharelado em Ciências Biológicas, Depto. de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina).
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Distribuição das raízes de laranja “Pêra” sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, 2002, p. 603 – 611.
- COSTA, W. de M.; GÁLVEZ, A. O.; BRITO, L. O.; SANTOS, E. L. Produção de ortofosfato, amônia, nitrito e nitrato no cultivo de *Litopenaeus vannamei* utilizando dietas com diferentes níveis de proteína vegetal e animal. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, 34(2): 303 - 310, 2008.
- COSTA, C. A. G.; GONDIM, R. S.; GOMES, A. R. M.; BEZERRA, F. C.; PEREIRA, N. S. **Análise de cobertura vegetal da *Helicônia bihai* cultivada em ambiente protegido**. In: 50ª Reunión de la Sociedade Interamericana de Horticultura Tropical, 2004, Limón. 50ª Reunión de la Sociedade Interamericana de Horticultura Tropical, 2004.
- CRUZ, M. C. M.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. Florescimento da tangerineira ‘Ponkan’ e da limeira ácida ‘Tahiti’ submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.360-364, 2006.
- CRUZ, C. della. Sistemas de piscicultura em arrozales en Indonésia. In: **FAO/ICLARM/IIRR. Agro-acuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.71-73. (FAO Documento Técnico de Pesca N° 407).
- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

DHAWAN, A.; SEHDEV, R. S. Present status and scope of integrated fish farming in the northwest of India. p. 295-306. In: MATHIAS, J.A. et al. **Integrated Fish Farming**. CRC press, Boca Ranton, New York, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. SILVA, A. F.; PINTO, J. M.; FRANÇA, C. R. R. S.; FERNANDES, S. C.; GOMES, T. C. A.; SILVA, M. S. L.; MATOS, A. N. B. **Preparo e uso de biofertilizante líquido**. Petrolina: Semiárido, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, 30)

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Databases Agriculture**. 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

FAO. **Pesca e Aquicultura**. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, 2010. 200p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0765pt/i0765pt09.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación: pagos a los agricultores por servicios ambientales**. Roma: FAO, 2007. 236p. (Colección FAO: Agricultura N. 38).

FEITOSA, D. R. C.; SANTOS, P. B. dos; ROMEIRO, G. E. de S.; FREITAS, C. A. S. de; SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L. Distribuição espacial do sistema radicular da mamoneira cultivar brs paraguaçu sob diferentes níveis de irrigação. **Rev. Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.4, n.4, p.234-241, 2010.

FERNANDES, E.J. & TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, 8:132-141, 2003.

FERREIRA, M. de N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petrolina**. Piracicaba: ESALQ, USP, 2004. 106p. Tese de Doutorado.

FRACARO, A.; PEREIRA, F. M. **Distribuição do sistema radicular da goiabeira ‘Rica’ produzida a partir de estaquia herbácea**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.26, n.1, p.183-185, 2004.

GARCES-RESTREPO, C.; VERMILLION, D.; MUÑOZ, G. **Irrigation management transfer: worldwide efforts and results**. Rome: FAO, 2007. 63p. (FAO Water Reports, 32).

GASCA-LEYVA, E. **La acuicultura y la agricultura trabajando juntas para la sustentabilidad**. In: FITZSIMMONS, K.; CARVALHO FILHO, J. (ed.) Tilapia aquaculture. Internacional Symposium on Tilapia Aquaculture. 5. Proceedings... Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura/Departamento de Pesca e Aquicultura, v. 1, 2000. p.305-310.

GHATE, S. R.; BURTLE, S. D. Water quality in channel catfish ponds intermittently drained for irrigation. In... WANG, J. K. **Techniques for Modern Aquaculture**. St. Joseph, MI: ASAE. p. 177-186, 1993.

GOMES, E. R.; JUNIOR, B. S. D.; BRITO, R. R. de. Análise econômica no uso da água de piscicultura na irrigação da banana. 2012. **Periódico Eletrônico: Fórum Ambiental da Alta Paulista**, V.8, N.11, 2012.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação: Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. João Pessoa: Ed. Universitária, UFPB, 1994. Cap. 4, p.177-228.

GONDIM, R. S.; GOMES, A. R. M.; BEZERRA, F. C.; MONTENEGRO, A. A. T.; COSTA, C. A. G. Monitoramento da cobertura vegetal da helicônia var. Alan Carle irrigada em cultivo protegido em três espaçamentos. In: X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología, 2004, Mar del Plata. X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología, **Anais...** 2004.

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M.; TEIXEIRA, A. H. C.; MOURA, M. S. B. **Goiaba: produção - aspectos técnicos**. Petrolina: Embrapa Semiárido; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 72p. (Frutas do Brasil; 17).

GONZAGA NETO, L.; PEDROSA, A. C.; BEZERRA, J. E. F.; DANTAS, A. P.; SILVA, H. M. E. Comportamento produtivo de goiabeira (*Psidium guajava* L.) na região do Vale do Rio Moxotó-Ibimirim-PE III. Seleções para consumo ao natural do fruto, onze anos de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.13,n.1, p.17-24, 1991.

GONZAGA NETO, L.G.; SOARES, J.M. **Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, 49p.

GONZAGA NETO, L. **Cultura da goiabeira**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1990. 26p. (Embrapa-CPATSA. Circular técnica, 23).

GONZALEZ, G.; SOURD, Y. D. Ensayo de poda en cinco cultivares de guayaba (*Psidium guajava*). **Ciencia y Tecnica en la Agricultura: Cítricos y Otros Frutales**, Habana, v.5, n.2, p.39-51, 1982.

GOPAL, L. Scheduling and depth of irrigation on growth and yield of guava (*Psidium guajava* L.) variety "Sadar". **Annals of Biology**, v. 12, n. 2, p. 238-241, 1996.

GOUVEIA, A. G. de O.; ROSA, A. Q.; DEVANTIER, G.; SAMPAIO, M. R. F.; SILVA, M. S. da; VIDINHA, R. M. **Ciclo do fósforo**. Apostila da disciplina de Química Ambiental II, Departamento de Química Analítica e Inorgânica, Universidade Federal de Pelotas, 36p. 2007.

HART, W. E.; NORUM, D. I.; PERI, G. Optimal seasonal irrigation application analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division of ASCE**, New York, v.106, n.3, p.221-235, 1980.

HAYNES, R. J. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 6, n. 2, p. 235-255, may. 1985.

HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; SAKAMOTO, Y.; JONAS, T. C.; ABRAMO, A. L. Aplicação da água de escoamento de tanque de piscicultura na irrigação da alface: aspectos nutricionais. **Revista Ecosistema**. v. 27, n.1/2, p. 49-52, 2002.

IBGE. Disponível em: < [http:// www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br) >. Acesso em: 25 jun. 2012.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Goiaba: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2. ed. rev. ampl. Campinas, 1991. 224 p. (ITAL. Série Frutas tropicais, 6).

JOHNSEN, F.; HILLESTAD, M.; AUSTRENG, E. High energy diets for Atlantic salmon. Effect on pollution. In: S.J. KAUSHIK & P. LUQUET (Eds.). **Fish nutrition in practice**. Paris: INRA, p. 391-401, 1993

JÚNIOR, B. S. D. **Reuso de água da piscicultura na irrigação da bananeira Fhia 18**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

KONRAD, M.; HERNANDEZ, F. B. T.; SANTOS, R. A. Distribuição espacial do sistema radicular da aceroleira em um solo Podzólico Vermelho Amarelo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXX. Foz do Iguaçu, 31 de julho a 03 de agosto de 2001. **Anais...** (CD-ROM).

KUBTIZA, F. **Índice de conversão alimentar de tilápias**. São Paulo: Matsuda, 2010. 13 p. (Artigo Técnico)

KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. 1ª ed., Jundiaí: São Paulo, 229 p. 2003.

KUBTIZA, F. **Tilápia-tecnologia e planejamento na produção comercial**. São Paulo: Desgaspari, 2000. 285 p.

LARA RODRIGUES, E. A.; BORYS, M. W. El cultivo del guayabo, *Psidium guajava* L. **Revista Chapingo**, v. 8, n. 9, p. 41-45, ago/set, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

LAWRENCE, A.; CASTILLE, F.; VELASCO, M.; BRAY, W. Programa de rações “favoráveis ao meio ambiente” ou “menos poluentes” para fazendas de camarão marinho. **Revista da ABCC**, Recife, 2003, ano.5, n.2, jun.

LEONHARDT, J. H.; URBINATI, E. C. (1998) Estudo comparativo do crescimento entre machos de Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, sexados e revertidos. **Boletim do Instituto de Pesca** 25, 19-26.

LIMA, C. B.; OLIVEIRA, E. G.; ARAUJO FILHO, J. M.; SANTOS, F. J. S.; PEREIRA, W. E. Qualidade da água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). **Revista ciência agrônômica** (UFC. Online), v. 39, p. 531-539, 2008.

LIMA, M. A. C. de; ASSIS, J. S. de; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do submédio são francisco. **Rev. Brasileira de Fruticultura**. vol.24 no.1 Jaboticabal Apr. 2002

LORENZI, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v.1. Nova Odessa, Editora Plantarum.

LOVELL, T. **Nutrition and feeding of fish**. New York: Auburn University, 1989. 260p.

LOVSHIN, L. L.; SILVA, A. B. da; CARNEIRO-SOBRINHO, MELO, F. R. A. e, 1990. Efeitos de *Oreochromis niloticus* fêmeas sobre o crescimento ea produção de híbridos do sexo masculino (*O. niloticus* fêmea × *O. hornorum* masculino) cultivadas em viveiros. **Aquicultura**. 88: 55-60.

MANDAL, G.; KUMAR, S.; KUMAR, R.; SILVA, R.. Effect of drip irrigation and plant spacing on yield, quality and economic return of guava (*Psidium guajava* L.) grown in saline soil. In: International Guava Symposium, 1v., 2007. Lucknow, Índia. **Anais...** Lucknow, 2007. CD – ROM.

MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.. **Goiaba**. Porto Alegre: Ed. Cinco Continentes, 2000. 374p. (Fruticultura tropical, 6).

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S.; MARTINS, D. S.; FULLIN, E. A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1995. 57p. (Circular Técnica, 3).

MEDINA, J. C. Cultura. In: ITAL, **Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ed. Campinas: ITAL, 1991. p.1-120. (Série de frutas tropicais, 6).

MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M. Comparação entre a evapotranspiração de referência obtida pelo tanque “classe a” e pela equação Fao-Penman-Monteith nas condições semi-áridas de Petrolina – PE. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, a ser realizado nos dias 29/08-03/09/2004 em Fortaleza – CE, **Anais...** 2004.

MOURA, M. S. B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

NOBRE, J. G. A. **Respostas da mamona à irrigação e à aplicação de potássio em argissolo vermelho-amarelo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2007.

NOBRE, J. G. A.; Viana, T. V. de A.; Medeiros, A. T.; Furlan, R. A.; Azevedo, B. M. de. Equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de Referência em Pentecoste, Ceará. in: XV CONIRD - Simpósio Internacional de Uso das águas Subterrâneas na Agricultura Irrigada, 2005, Teresina - PI. **Anais...** (CD-ROM), 2005. p. 1-6.

OLIVEIRA, H. do V. de; NETO, F. B.; AZEVEDO, C. M. S. B.; LIMA, C. B. e. Alterações nos teores de cálcio, magnésio e potássio de um argissolo vermelho-amarelo irrigado com efluente de piscicultura, em ambiente protegido. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.1, n.2, p.231–240, mai/ago 2008.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. de S.; PEREIRA, A. M. L.; LIMA, C. B. **Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e recria**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 12p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 45).

OLIVEIRA, I.; VARELA, M. 2005. **A qualidade da água dos pequenos regadios individuais do Alentejo**. Actas do I Congresso Nacional de Rega e Drenagem. 5 a 8 de Dezembro, Beja. (CD-ROM), 2005.

OLSEN, M. W.; FITZSIMMOS, K. M.; MOORE, D. H. Surface irrigation of cotton using aquaculture effluent. Pages 159-165. *In...* **Techniques for Modern Aquaculture**, St. Joseph, MI:ASAE, p.02-93, 1993.

ONGLEY, E. D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas**. Tradução Gheyi, H.R.; Damaceno, F.A.V.; Brito, L.T.de L. Campina Grande: UFPB, 2001, 92p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 55).

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. Discharge of nutrientes from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of Califórnia. **Marine Pollution Bulletin**, 1999, 387, p. 585-592.

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. The environmental impacto of shrimp aquaculture and the coastal pollution in México. **Marine Pollution Bulletin**, 1998, 26(1):.65-75.

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; ESPINOZA-ÂNGULO, R. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-wester Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, 1997, v.34, n.5, p. 290-297.

PAPADOPOULOS, I. **Processo de transição da fertilização tradicional para a fertirrigação**. In: FOLEGATTI, M. V.(Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. V. 2, cap. 1, p. 9-69.

PATEL, R. K.; YADAV, D. S.; BABU, K. D.; SINGH, A.; YADAV, E. 2007 RM. Growth, yield and quality of various guava (*psidium guajava* l.) hybrids/cultivars under mid hills of meghalaya. **Acta Hort.** (ISHS) 735:57-59
Disponível em: <http://www.actahort.org/books/735/735_5.htm>. Acesso em: 13 out. 2012.

PATIL, P. V.; PATIL, V. K.; LAWAND, B. T. Effect of different water regimes on yield of guava (*Psidium guajava* L.). **South Indian Horticulture**, Lawley, v. 41, n. 6, p 322-332, 1993.

PEREIRA, F.M.; MARTINEZ JÚNIOR, M. **Goiabas para industrialização**. Jaboticabal, Ed. Legis Summa, 1986.142p.

PRUEGER, J. H. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.3, p.730-736, 1997.

REY, J.Y. **Etude architecturale de la partie aérienne du goyavier**. Montpellier, 1987.49p. These (Doctorat) – Université de Montpellier II.

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PRADO, R. de M; BARBOSA, J. C. Tamanho da amostra foliar para avaliação do estado nutricional de goiabeiras com e sem irrigação. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.233–239, 2009.

- SANTOS, F. J. S. **Cultivo de tilápia e uso de seu efluente na fertirrigação de feijão-vigna**. 2009. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2009.
- SCHWART, M.; BOYD, C. E. Channel catfish pond effluents. Alabama. **Agricultural Experiment Station**, (Auburn University – USA), Alabama, USA, 1994.
- SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.215-221, 1997.
- SERRANO, L. A. L.; MARINHO, C. S.; LIMA, I. M.; MARTINS, M. V. V.; RONCHI, C. P.; TARDIN, F. D. Fenologia da goiabeira ‘paluma’ sob diferentes sistemas de cultivos, épocas e intensidades de poda de frutificação. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.701-712, 2008.
- SERRANO, L. A. L.; MARINHO, C. S.; RONCHI, C. P.; LIMA, I. M.; MARTINS, M. V. V.; TARDIN, F. D. Goiabeira ‘Paluma’ sob diferentes sistemas de cultivo, épocas e intensidades de poda de frutificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.785-792, 2007.
- SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.
- SILVA JÚNIOR, J. F.; TAVARES, J. A.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; PEDROSA, A. C.; MELONETO, M. L. Competição de cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) para indústria na chapada do Araripe, PE. II (Características físico-químicas do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.21,n.1, p.1-6, 1999.
- SIMÃO, F. R.; MANTOVANI, E. C.; FREITAS, G. B.; RAMOS, M. M.; MIRANDA, G. V. Estudo de diferentes estratégias de manejo da irrigação da cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) variedade Paluma na região Norte de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, v.15, p.331-345, 2007.
- SINGH, B. K.; TIWARI, K. N.; SHOURASIA, S. K.; MANDAL, S. Crop water requirement of guava (*Psidium guajava* L.) cv. kg/kaji under drip irrigation and plastic mulch. In: International Guava Symposium, 1v., 2007. Lucknow, Índia. **Anais...** Lucknow, 2007. CD – ROM.
- SINGH, H. P.; SILVA, G. Nutrient and water management in guava. In: International Guava Symposium, 1v., 2007. Lucknow, Índia. **Anais...** Lucknow, 2007. CD – ROM.
- SINGH; G.; SINGH, A.K.; RAJAN, S. Influence of pruning date on fruit of guava (*Psidium guajava* L.) under subtropics. **Journal Applied of Horticulture**, v.3, n.1, p.37-40, 2001.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água em aquíicultura. **Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola**. Publicación Anual del Departamento de Recursos Hidrobiológicos Universidad de Nariño, ano I, v. 1, p.1-14, 2004.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO, Methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO, 1990 (1991), 45p.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Efeito da frequência de aplicação de N e K por gotejamento no estado nutricional e qualidade dos frutos do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUSA, E. F. **Função de produção da cana-de-açúcar e da goiabeira em relação à irrigação.** 1997. 119 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1997.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; COUTO, F. A. A. Influência da Irrigação na Goiabeira (*Psidium guajava* L. var Ogawa III). II. Florescimento e Vingamento de Frutos. In: Simpósio Brasileiro sobre a cultura da goiabeira, 1., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP – FCA, FUNEP, GOIABRAS, 1997, p. 17.

TÁVORA, F. J. A. F.; PEREIRA, R. G.; HERNADEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com Na Cl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 441-446, 2001.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; REIS, V. C. S.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, M. N. L.; MAIA, J. L. T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológica automática e convencional. **Rev. Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 3, p. 457-460, dezembro 2003.

VELASCO, M.; LAWRENCE, A. L.; CASTILLE, F. L. Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. **Aquaculture**, Amsterdam, 1999, 179: 141-148

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada.** Tradução de H.R. Gheyi, F.A.V. Damasceno, L.G.A. Silva Jr.; J.F. de Medeiros, Campina Grande, UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

ZAMBÃO, J. C.; BELLINTANI NETO, A. M. **Cultura da goiaba.** Campinas: CATI, 1998. 23 p. (Boletim técnico, 236).

WESTERS, H. **Fish hatchery management.** 2. ed. Bethesda: American Fisheries Society, 2001. p. 31-90.