



Universidade Federal de  
Campina Grande



CENTRO DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA

**P I P R N**  
PROGRAMA INSTITUCIONAL de  
PÓS-GRADUAÇÃO EM  
RECURSOS NATURAIS

---

**TESE DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Processos Ambientais

**TÍTULO:** CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E  
RENTABILIDADE DO ALGODOEIRO BRS  
200 – MARROM, IRRIGADO

**AUTOR:** JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA

---

**JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA**

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E RENTABILIDADE DO  
ALGODOEIRO BRS 200 – MARROM, IRRIGADO**

**ORIENTADORES**

**Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO**

**Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA**

Campina Grande – Paraíba  
Dezembro – 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E RENTABILIDADE DO  
ALGODOEIRO BRS 200 – MARROM, IRRIGADO**

**JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande, em  
cumprimento às exigências para obtenção do  
grau de Doutor**

**Área de Concentração:** Processos Ambientais

**Linha de Pesquisa:** Transferência de Calor e Massa na Biosfera

**Orientadores:** Dr. Pedro Vieira de Azevedo  
Dr. Bernardo Barbosa da Silva

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**

**Dezembro/2007**

JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E RENTABILIDADE DO ALGODOEIRO  
BRS 200 - MARROM, IRRIGADO

APROVADA EM: 13/12/2007

**BANCA EXAMINADORA**

  
PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**BERNARDO BARBOSA DA SILVA**

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO**  
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa - PRPG  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

  
NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO

Embrapa Algodão  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



**JOSÉ DANTAS NETO**

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

*A meus pais Zezito e Dezilda, que  
nunca mediram esforços em  
proporcionar a educação e formação  
profissional de seus filhos.*

## **MINHA HOMENAGEM**

*A minha esposa Fátima, pelo amor,  
compreensão e apoio incondicional em todas  
as etapas do nosso convívio e aos filhos  
Renato Filho, Karina e Roberta pelo amor,  
afeto e admiração.*

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS:**

A Deus, pela minha existência e pelo que sou.

Aos professores Dr. Pedro Vieira de Azevedo e Dr. Bernardo Barbosa da Silva, pela brilhante orientação, pelos ensinamentos ministrados, pelo incentivo constante e, principalmente, pela amizade,

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade da realização do curso.

Aos professores do curso de doutorado em Recursos Naturais da UFCG pelos ensinamentos e incentivos.

À Embrapa que tanto faz pela sociedade brasileira, pela política de incentivo à capacitação de seus técnicos e pelo apoio à realização deste trabalho de tese.

As Chefias da Embrapa Algodão, nas pessoas do Dr. Eleusio Curvelo Freire e do Dr. Robério Ferreira dos Santos e seus adjuntos, pela permissão de realização do curso mesmo fora do programa de pós-graduação da Embrapa, pelo apoio e incentivo.

Aos colegas da Embrapa Algodão pela torcida, em particular ao Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão, pelas sugestões e contribuição na elaboração deste trabalho; ao M.Sc. José Wellington dos Santos, pelas análises estatísticas e sugestões dadas ao trabalho; ao Dr. José da Cunha Medeiros, pela análise pedológica do solo da área experimental, a M.Sc. Maria José da Silva e Luz, pelas sugestões e pela revisão do trabalho.

Ao assistente de pesquisa e colega de doutorado José Marcelo Dias, pelo imensurável apoio na condução dos trabalhos de campo, no compartilhamento de estudos nas disciplinas do curso e pela amizade.

A equipe de funcionários da Embrapa Algodão em Barbalha, CE, pela valiosa contribuição na condução dos trabalhos de campo.

Aos funcionários dos Laboratórios de Solo da Embrapa Algodão e da Universidade Federal de Campina Grande, pelas análises realizadas.

Aos funcionários da Biblioteca da Embrapa Algodão pela inestimável ajuda pela busca de material bibliográfico e à bibliotecária Nívia Marta pela revisão das referências bibliográficas.

Aos colegas de curso de doutorado em Recursos Naturais pelo apoio em todas as etapas do curso e pela amizade.

A toda minha família, representada por meus pais, irmãos, esposa, filhos, tios, primos, sobrinhos, sogra e cunhados, pelo apoio e incentivo constantes e por suportarem neste período, minhas ausências.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
1. Introdução.....	1
2. Revisão de Literatura.....	4
2.1. A cultura do algodoeiro .....	4
2.2. Necessidades hídricas da cultura.....	5
2.2.1. Consumo hídrico da cultura usando a Razão de Bowen.....	8
2.3. Eficiência de uso de água no algodoeiro.....	15
2.4. Análise de crescimento do algodoeiro .....	19
2.5. Eficiência econômica da cultura.....	23
3. Material e Métodos.....	27
3.1. Área experimental.....	27
3.2. Solo da área experimental.....	28
3.3. Cultura estudada.....	29
3.4. Parcela experimental.....	31
3.5. Análises estatísticas .....	32
3.6. Eficiência de uso de água .....	33
3.7. Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 – Marrom.....	34
3.8. Balanço de energia sobre a vegetação .....	34
3.9. Análise de crescimento e desenvolvimento do algodoeiro BRS 200 – Marrom.....	38
3.10. Eficiência econômica do algodoeiro BRS 200 – Marrom.....	40
4. Resultados e Discussão.....	42
4.1. Fenologia do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom.....	42
4.2. Evapotranspiração da cultura (ETc) obtida pelo método da Razão de Bowen.....	43
4.3. Respostas físicas do algodoeiro BRS 200 – Marrom.....	46
4.4. Eficiência de uso de água do algodoeiro BRS 200 – Marrom .....	51
4.5. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro BRS 200 – Marrom.....	52
4.6. Resposta econômica do algodoeiro BRS 200 – Marrom .....	63

5. Conclusões.....	67
6. Referências Bibliográficas.....	68
7. Anexos	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Curvas de retenção de umidade do solo da área experimental. Barbalha, CE, 2005.....	29
Figura 3.2. Visão geral da área experimental, com a torre de observação meteorológica. Barbalha, CE, 2005.....	30
Figura 3.3 – Sistema de aquisição de dados com o detalhe do módulo de armazenamento. ....	38
Figura 4.1. Variação estacional da evapotranspiração diária do algodoeiro BRS 200, – Marrom irrigado, obtida pela Razão de Bowen, para Barbalha, CE – 2005. ....	43
Figura 4.2. Variação estacional da radiação solar global (a), velocidade do vento (b), umidade relativa (c) e irrigação ou precipitação (d), ocorrida no período de cultivo do algodoeiro BRS 200 – Marrom irrigado, em Barbalha, CE, 2005. ....	44
Figura 4.3. Curvas ajustadas de altura média de plantas, no algodoeiro BRS 200 – Marrom submetido a diferentes lâminas de irrigação. ....	54
Figura 4.4. Curvas ajustadas do diâmetro caulinar do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido à diferentes lâminas de irrigação, Barbalha, CE, 2005. ....	57
Figura 4.5. Curvas ajustadas da área foliar do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido à diferentes lâminas de irrigação. ....	59
Figura 4.6. Curvas ajustadas da fitomassa total do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido à diferentes lâminas de irrigação, Barbalha, CE, 2005. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Valores médios mensais das normais climatológicas, pressão atmosférica (hPa), temperatura média (°C), temperatura máxima média (°C), temperatura mínima média (°C), precipitação média (mm), evaporação média (mm); umidade relativa média (%), insolação total (h) e nebulosidade. do Município de Barbalha, CE, 1961 – 1990.....	27
Tabela 3.2. Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área experimental – Barbalha, CE. ....	28
Tabela 4.1. Ciclo fenológico do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em suas diversas fases de desenvolvimento. Barbalha, CE, 2005.....	42
Tabela 4.2. Valores médios da evapotranspiração (ETc) do algodoeiro BRS 200 – Marrom, por fase fenológica. Barbalha, CE – 2005. ....	45
Tabela 4.3. Resumo da análise de variância dos componentes de produção do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE.....	46
Tabela 4.4. Resultados médios de rendimento de algodão em rama ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), percentagem de fibra (%), peso médio do capulho (g) e peso de cem sementes (g), do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE.....	47
Tabela 4.5. Resumos das análises de variância dos dados de comprimento de fibra (CF), uniformidade de fibra (UF), índice de fibras curtas (IFC), resistência (RES), alongamento à ruptura (ALR), índice micronaire (IM), maturidade (MAT), reflectância (REF), Grau de amarelo (GAM) e índice de fiabilidade (IF) do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	50
Tabela 4.6. Valores médios do comprimento de fibra (CF), uniformidade de fibra (UF), índice de fibras curtas (IFC), resistência (RES), alongamento à ruptura (ALR), índice micronaire (IM), maturidade (MAT), reflectância (REF), Grau de amarelo (GAM) e índice de fiabilidade (IF) do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	51
Tabela 4.7. Altura média de plantas (cm) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE.....	53
Tabela 4.8. Equações de regressão ajustada e coeficientes de correlação da altura média de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	55
Tabela 4.9. Diâmetro caulinar (cm) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005..	56

Tabela 4.10. Equações de regressão ajustada e coeficientes de correlação do diâmetro caulinar de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE. ....	58
Tabela 4.11. Área foliar (cm <sup>2</sup> ) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	58
Tabela 4.12. Equações de regressão ajustada e coeficientes de correlação da área foliar de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	60
Tabela 4.13. Fitomassa da planta (g) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005..	61
Tabela 4.14. Equações de regressão e coeficientes de correlação da fitomassa seca total de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.....	62
Tabela 4.15. Custo por hectare e variação percentual do custo de produção do algodoeiro BRS 200 – Marrom submetido a diferentes lâminas de irrigação. ....	63
Tabela 4.16. Dados relativos aos custos independentes do tratamento (CIT <sub>i</sub> ), custos dependentes do tratamento (CDT <sub>i</sub> ), custo total (CT <sub>i</sub> ), produção obtida (PD <sub>i</sub> ), renda bruta (RB <sub>i</sub> ) e renda líquida (RL <sub>i</sub> ), relação benefício/custo (RBC), e taxa marginal de retorno (TMR) do algodoeiro BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. ....	64

## CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E RENTABILIDADE DO ALGODOEIRO BRS 200 – MARROM, IRRIGADO

### RESUMO

Um experimento foi realizado na Estação Experimental da Embrapa em Barbalha – CE, com coordenadas geográficas 7°19' de latitude Sul; 39°18' de longitude Oeste e 415,74m de altitude, no ano de 2005, com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre o algodoeiro BRS 200 Marron (*Gossipium hirsutum* L.). Os tratamentos testados foram:  $T_1 = 0,8$ ;  $T_2 = 1,0$  e  $T_3 = 1,2$  da evapotranspiração da cultura, estimada através do balanço de energia baseado na razão de Bowen, correspondendo a lâminas de irrigação de 411,6; 514,5 e 617,4 mm. Foram avaliados o rendimento de algodão em caroço, os componentes de produção “percentagem de fibra”, “peso de capulho” e “peso de 100 sementes” e as características tecnológicas de fibra. Estimou-se a eficiência de uso de água e a eficiência econômica do sistema de produção. Foram também estudadas as seguintes variáveis de crescimento (altura média de plantas, diâmetro caulinar, área foliar e a fitomassa da planta). Os resultados mais expressivos foram: o rendimento de algodão em caroço aumentou com o incremento da lâmina de irrigação, a maior lâmina produziu 3.289,5 kg.ha<sup>-1</sup> de algodão em rama. Os tratamentos estudados não afetaram os componentes da produção, nem as características tecnológicas da fibra. A eficiência de uso de água decresceu com o aumento da lâmina de irrigação, apresentando valores de 0,602; 0,554 e 0,533 kg.m<sup>-3</sup> para a aplicação de 411,6; 515,5 e 617,4mm, respectivamente. Todos os tratamentos apresentarem resposta econômica positiva com renda líquida de R\$ 386,99 ha<sup>-1</sup>; R\$ 732,89 ha<sup>-1</sup> and R\$ 1,140.37 ha<sup>-1</sup> para os tratamentos que receberam as lâminas de 411,6; 515,5 e 617,4mm, respectivamente, com relação benefício/custo de 1,59; 1,83 e 2,12, com base nos preços praticados. Observou-se diferenças significativa para todas as variáveis de crescimento estudadas, tendo o tratamento que recebeu lâmina de 617,4 mm apresentado uma maior resposta ao longo de todo o ciclo da cultura.

## GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD IN THE IRRIGATED COTTON CROP, CULTIVAR BRS 200 – MARROM

### ABSTRACT

A field experiment was carried out at the Embrapa's Experimental Station of Barbalha-CE (7°19' S; 39°18'W and 415,74m high) during the growing season of 2005 with the objective of investigating the effect of different water depth on BRS 200 Marron cotton cultivar (*Gossypium hirsutum* L). The treatment were:  $T_1 - 0.8$ ;  $T_2 - 0.1.0$  and  $T_3 - 1.2$  of the crop transpiration, estimated by the Bowen ratio-energy balance method, corresponding to the following irrigation water depths of 411.6 mm; 514.5mm and 617.4mm. It was evaluated cotton yield, some crop components (fiber percent, boll weight, weight of 100 seeds) and tecnological characteristics of cotton fiber. It was also estimated the water use efficiency and the economic efficiency of the production system. It was also computed plant height, stem diameter, leaf area and total phytomass. The most expressive results were: cotton yield increased with increasing irrigation water depth, the highest water depth (617.4mm) produced 3.289.5 kg ha<sup>-1</sup> of cotton. The irrigation water depth did not affect the yield the yield components (fiber percent, boll weight, 100 seeds weight and fiber technological characteristics of the BRS 200 – Marrom cotton cultivar). The water use efficiency decreased from 0.602; 0.554 and 0.533 kg m<sup>-3</sup>, with the application of 411.6; 515.5 and 617.4 mm, respectively. All the treatments showed economical return with net income per hectare of R\$ 386.99; R\$ 732,89 and R\$ 1,140.37 to the treatments which received the water irrigation of 411.6; 515.5 and 617.4 mm, respectively, with a benefit/cost ratio of 1.59; 1.83 and 2,12, based in the prices practiced. It observed also significant differences for all the growth variables studied, but the treatment which received water irrigation of 617.4 mm shower the best result throughout the crop growth cycle.

## 1. INTRODUÇÃO

O algodão constitui-se em uma das principais fibras de origem vegetal, sendo bastante consumida como matéria-prima pela indústria têxtil brasileira, por se tratar do principal produto utilizado na indústria de confecções.

As condições edafoclimáticas da região semi-árida do Nordeste brasileiro são favoráveis à cotonicultura que suporta as irregularidades na distribuição da precipitação pluvial. Trata-se de uma atividade agrícola de grande importância sócio-econômica para a região, pois agrega um grande contingente de mão-de-obra no campo e na cidade, além de impulsionar o parque têxtil do país, o qual necessita de matéria-prima para atender à sua demanda. Entretanto, apesar dessa cultura já ter ocupado uma área bastante significativa na região, chegando a mais de 3.000.000 ha em 1985 (BELTRÃO, 1999), o estabelecimento da praga do bicudo, aliado a problemas de ordem conjuntural, provocou uma redução bastante acentuada da área cultivada. Por se tratar de uma cultura tradicional na região, após a obtenção de tecnologia para convivência com a praga do bicudo, observou-se aumento da área cultivada, embora em uma escala bem inferior à anterior. Observou-se, também, uma mudança no perfil de seu cultivo; de uma cultura típica da agricultura familiar passou a ter um cultivo mais tecnificado e conduzido por produtores empresariais.

Diante dessa conjuntura, e visando obter novas alternativas à agricultura da região, a Embrapa Algodão desenvolveu uma cultivar de fibra colorida, a partir do algodoeiro arbóreo com fibra colorida. A BRS 200 – Marrom, que é um “bulk” constituído pela mistura, em partes iguais, de três linhagens, derivadas de algodoeiro arbóreo (FREIRE et al., 2001), com ciclo produtivo de três anos, apesar de ter sido desenvolvida para o regime de sequeiro, devido às suas características de tolerância ao déficit hídrico, pode ser cultivada em regime de irrigação, com alto potencial produtivo. O cultivo desse material poderá possibilitar melhorias no processo produtivo da agricultura da região, por se tratar de um material rústico, de fibra naturalmente colorida, oferecendo vantagens econômicas ao cotonicultor em virtude do melhor preço da fibra no mercado e por ter maior produtividade que o algodoeiro arbóreo cultivado em regime de sequeiro. Em decorrência de sua coloração natural, o

tingimento não é necessário no processamento industrial, acarretando dois benefícios diretos: o primeiro, diz respeito ao meio ambiente, uma vez que no tingimento artificial, utiliza-se um grande volume de água, 120 a 380 litros por metro de tecido processado (BRAILE & CAVALCANTI, 1993), sendo a água residual extremamente poluente com grande potencial deletérico (características físico-químicas que incluem pH de 8 a 11, 1000 a 1600 mg.l<sup>-1</sup> de sólidos totais e 30 a 50 mg.l<sup>-1</sup> de sólidos em suspensão, constituídos por corantes, gomas, soda cáustica, detergentes, sabões, anti-espumantes, cloro, formóis, emulsões, dispersantes, óleos, resinas etc); e o segundo, refere-se ao grande potencial de mercado dos países do primeiro mundo, cuja demanda por produtos de origem natural, principalmente na Europa e no Japão, vem aumentando de forma considerável, o que torna seu potencial de expansão elevado. De acordo com Dias et al. (2005), novas cultivares com outras tonalidades de cor, sem o uso de corantes sintéticos, podem abrir novos mercados, inclusive para o algodão colorido orgânico, por resultar em um produto ecologicamente limpo, sem agressões ao homem e ao meio ambiente.

Considerando-se esses aspectos, é indispensável um ajuste tecnológico no processo produtivo desse tipo de algodão para que o produtor nordestino possa usufruir dos benefícios potenciais. Nesse contexto, a irrigação poderá permitir a obtenção de maiores produtividades com a oferta de umidade às plantas no momento oportuno, possibilitando o seu máximo potencial produtivo; diminuição dos riscos decorrentes da má distribuição espacial e temporal das chuvas e a possibilidade da obtenção de uma fibra de melhor qualidade, devido à intensidade de brilho solar, característica da região no período em que se pratica a agricultura irrigada. Todavia, para a obtenção de altos rendimentos e maior eficiência no uso de água é necessário conhecerem-se as necessidades hídricas da cultura, de modo que se possa oferecer às plantas a quantidade de água necessária para os seus processos metabólicos e fisiológicos (AZEVEDO et al., 1993).

Considerando que a cultivar BRS 200 – Marrom é um material descendente do algodoeiro arbóreo, que apresenta uma tendência de produzir intenso desenvolvimento vegetativo, quando cultivado sob regime de

elevados conteúdos de umidade no solo, tornam-se necessários estudos para identificar a melhor lâmina de água a ser aplicada.

Objetivou-se com este trabalho determinar a resposta do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em seu primeiro ano de cultivo, a diferentes lâminas de irrigação, buscando, especificamente:

- a) Avaliar a produtividade deste algodoeiro submetido à diferentes lâminas de irrigação.
- b) Determinar a eficiência de uso de água desta cultivar.
- c) Análisar o crescimento do algodoeiro, sob diferentes lâminas de irrigação.
- d) Avaliar a resposta econômica desse algodoeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A cultura do algodoeiro

A cultura do algodoeiro é uma das mais importantes fibrosas do mundo (CETIN & BILGEL, 2002; AUJLA et al., 2005) e constitui-se numa das principais atividades agrícolas do Brasil, chegando a envolver, direta ou indiretamente, nos diversos segmentos da sociedade, aproximadamente 15% da economia nacional (BELTRÃO et al., 1994). De acordo com os dados do IBGE (2006), na safra de 2005/2006, o Brasil plantou uma área de 1.263.324 ha, alcançando uma produção de 3.668.286t, tendo a Região Nordeste, correspondido com 26,85% da área plantada e 24,39% da produção total. De acordo com a CONAB (2006), esse quantitativo de algodão em caroço correspondeu a uma produção de 1.046.500 t de fibra, para um consumo de 880.000 t, no mesmo período, verificou-se importação de 118.000 t e exportação de 392.000 t.

O Nordeste brasileiro em decorrência da modernização de seu parque têxtil, é o segundo pólo consumidor de fibra de algodão, no Brasil, o que acarreta a demanda por um volume considerável desse produto. Embora a produção da região tenha aumentado nos últimos anos, chegando a uma área plantada de aproximadamente 340.000 ha com uma produção ao redor de 900.000t (IBGE, 2006), a maior concentração dessa produção está na região dos Cerrados, sendo o Oeste da Bahia, já na safra 2004/05, responsável por uma produção de 280 mil toneladas de fibra, em uma área plantada de 205 mil hectares (FACUAL, 2005).

Visando o restabelecimento da produção, principalmente no semi-árido, a Embrapa Algodão vem promovendo pesquisas com o objetivo de ampliar as opções de cultivo para o Nordeste e, principalmente, atender à agricultura familiar. Porém, a retomada da produção do algodão, implica na incorporação de novas tecnologias ao sistema produtivo. Assim, procurando atingir este objetivo, desenvolveram-se cultivares de algodão colorido adaptadas às condições edafoclimáticas da região semi-árida.

Dentre as cultivares de algodoeiro disponível para a região Nordeste, a BRS 200, de fibra marrom foi a primeira de fibras geneticamente coloridas obtida no Brasil, através de melhoramento convencional, com utilização do

método de seleção genealógica. Trata-se de um “bulk” constituído pela mistura, em partes iguais, de sementes das linhagens CNPA 92 1139, CNPA 92 362 e CNPA 95 653, derivadas do algodoeiro arbóreo (FREIRE et al., 2001).

A fibra é o principal produto do algodoeiro e tem uma grande importância para a indústria têxtil, representando 46% da fibra natural utilizada pela indústria mundial e 74% no Brasil (SANTANA, 2002). As características tecnológicas da fibra do algodoeiro são determinadas, basicamente, por fatores genéticos, embora fatores ambientais e de manejo como, condições climáticas, fertilidade de solo, incidência de pragas e doenças e o suprimento hídrico, definam estas características (SANTANA et al., 1999). Marois et al. (2004) afirmam que o microclima formado pela copa do algodoeiro causa significativo impacto sobre a qualidade da fibra. Para estes autores a interação entre a luz e a temperatura afeta as características da fibra do algodoeiro como a uniformidade, que é produzida em condições de alta luminosidade e baixa temperatura.

De acordo com Fonseca & Santana (2002), a caracterização das fibras do algodoeiro é realizada, utilizando-se o instrumento de alto volume HVI (High Volume Instruments) e, tanto o mercado mundial do algodão como o melhoramento genético, usam como procedimento padrão a norma internacional ASTM D-4605. Dentro desta padronização são realizadas as determinações de índice micronaire, comprimento, uniformidade de comprimento, índice de fibras curtas, índice de fiabilidade, resistência da fibra, alongamento à ruptura, refletância, grau de amarelo e maturidade. O equipamento ainda determina o grau de impurezas e o teor de açúcar presente na fibra.

## **2.2. Necessidades hídricas da cultura**

A necessidade de exploração do algodoeiro em regime de irrigação no Nordeste brasileiro decorre da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial. Porém, a irrigação é uma prática de fornecimento de água às culturas que necessita de informações de onde e quando as precipitações pluviométricas não são suficientes para suprir às necessidades hídricas das plantas. A irrigação constitui-se numa atividade imprescindível

para qualquer agricultura rentável, em quase todas as regiões e climas da Terra (PESSOA et al., 1997).

Como nas regiões áridas e semi-áridas, a disponibilidade de água no solo condiciona significativamente a produção agrícola, a utilização da irrigação tem assegurado o crescimento e o desenvolvimento das culturas, melhorando substancialmente a produtividade. Todavia, considerando-se que a irrigação é a principal atividade consumidora de água e que aumenta os custos com energia, ou seja, é concorrente pelos recursos hídricos e energéticos com os setores industrial e urbano, torna-se importante a realização de estudos que definam o momento de se efetuar as irrigações e a quantidade de água que deverá ser aplicada, visando atender às necessidades hídricas das plantas. O manejo eficiente da irrigação possibilitará a economia desses recursos, a otimização do uso dos insumos agrícolas e a obtenção de maiores retornos econômicos, o que viabilizará o aumento da área irrigada no país (AMORIM NETO, 1995).

Para Doorenbos & Kassam (2000), tanto a falta como o excesso de água são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. A determinação das necessidades hídricas das culturas, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é uma etapa importante para o manejo de irrigação (AMORIM NETO et al., 1996).

A estimativa das necessidades hídricas de uma determinada cultura é feita com base nas perdas d'água do sistema solo-planta para a atmosfera, através dos processos de evaporação e transpiração. Conforme Rosenberg et al. (1983) e Allen et al. (1998), a evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil distinguir o vapor d'água produzido pelos dois processos separadamente. Deste modo, o termo evapotranspiração é usado para descrever o processo total de transferência de água na forma de vapor de superfícies vegetadas para a atmosfera. Para Doorenbos & Kassam (2000), a evapotranspiração é um processo dinâmico, sendo representado pelas perdas de água ocorridas, sob a forma de vapor, através da superfície do solo (evaporação) e da superfície das folhas (transpiração), com variações locais e espaciais provocadas pelas condições de solo, clima e estágio de desenvolvimento da cultura.

O consumo hídrico do algodoeiro tem sido determinado em numerosos trabalhos, nos quais se pode observar uma grande variação de informações, em função da cultivar utilizada ou das condições climáticas dos locais, onde o trabalho foi realizado. Oliveira & Silva (1987) determinaram no município de Barreiras, BA, o consumo hídrico do algodoeiro herbáceo, cultivar SU 0450, obtendo um consumo médio diário de 4,4 mm, com um mínimo diário de 2,4 mm no início do desenvolvimento vegetativo da cultura, e um máximo diário de 6,2 mm, no período de plena floração e frutificação.

Azevedo et al. (1993), estudando o consumo hídrico do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, utilizando o evapotranspirômetro de lençol freático constante em Souza, PB, para a no período de agosto a dezembro de 1990, obtiveram um consumo total durante o ciclo da cultura de 440,0 mm. Eles observaram, ainda, que no período de máxima demanda, que ocorreu na décima semana de cultivo, o consumo correspondeu a 6,4 mm.dia<sup>-1</sup>.

Pereira et al. (1997a) determinaram o consumo de água do algodoeiro herbáceo, cultivares CNPA Precoce 1 e CNPA 7H, em casa de vegetação sob diferentes níveis de umidade disponível (UD) no solo (63, 43, 23 e 3%). Eles observaram um aumento significativo de consumo em função do nível de água disponível no solo para ambas as cultivares, em todas as suas fases de desenvolvimento. Os consumos médios foram de 501,12 mm para a cultivar CNPA Precoce 1 e de 533,52 mm para a cultivar CNPA 7H.

Silva et al. (2003) obtiveram para a cultivar de algodoeiro herbáceo BRS 201, um consumo de 450,9 mm, utilizando lisímetro de drenagem e 517,1 mm quando estimaram o consumo pela Razão de Bowen.

O consumo hídrico das culturas pode ser determinado a partir da evapotranspiração, utilizando-se diversos métodos diretos. Dentre esses métodos, destacam-se os lisímetros ou evapotranspirômetros que consistem em tanques vegetados, onde são contabilizadas todas as entradas e saídas de água no sistema, tornando possível a quantificação do consumo de água pela cultura.

A evapotranspiração que se verifica em um solo cultivado depende das condições meteorológicas reinantes, da atividade biológica da vegetação presente e da umidade disponível na zona das raízes (VAREJÃO-SILVA,

2001). Portanto, pode-se estimar o consumo hídrico das culturas, utilizando-se diversos métodos na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) ou potencial (ETP) (DOORENBOS & PRUIT, 1979, ROSENBERG et al., 1983; VAREJÃO-SILVA, 2001). A escolha do método baseia-se, principalmente, no tipo do dado disponível na estação meteorológica e na precisão requerida na determinação do consumo hídrico da cultura (SEDIYAMA, 1987).

A aplicação do método do balanço de energia na estimativa do consumo hídrico de áreas que têm coberturas vegetadas tem sido uma prática de muitos institutos de pesquisa e universidades em diferentes países (ANGUS & WATTS, 1984; CUNHA et al., 1996; PRUEGER et al., 1997; AZEVEDO et al., 2003; RODRIGUES, 2003; SILVA et al., 2003; SOARES, 2003; SOUZA, 2003; CARDOSO et al., 2005; MOURA, 2005; SOUSA, 2005; SILVA et al., 2006). Esse método se baseia no princípio da conservação de energia, em que o balanço dos fluxos de entrada e saída de energia no volume de controle representado pela área vegetada, permite, através de sua contabilização, a determinação da energia utilizada pela cultura no processo de transferência de água, sob a forma de vapor, para a atmosfera.

### **2.2.1. Consumo hídrico da cultura usando a Razão de Bowen**

O método do balanço de energia aplicado a áreas com coberturas vegetais se baseia no princípio de conservação da energia (TEIXEIRA et al, 2001; WANG & BRAS, 2001; SILVA, 2005). Este método tem sido utilizado na estimativa do consumo hídrico com bastante frequência por muitos pesquisadores (TODD et al., 2000; CASA et al., 2000; RANA & KATERJI, 2000; LOPES et al., 2001; RODRIGUES, 2003; TEIXEIRA et al., 2003; SOARES, 2003; MOURA, 2005; SILVA et al., 2006; SILVA et al, 2006). O balanço dos fluxos de entrada e saída de energia no volume de controle, representado pela área vegetada, permite a determinação da energia utilizada pela cultura no processo de transferência de água sob a forma de vapor para a atmosfera. De acordo com Moura (2005), o saldo de radiação é o resultado das trocas de energia radiativa que se estabelecem na interface solo-planta-atmosfera e sob o ponto de vista energético, a evapotranspiração pode ser considerada como a energia utilizada para transferir água do conjunto solo-

plantas, para a atmosfera, sob a forma de vapor. Nesse caso, a evapotranspiração pode ser chamada de calor latente e é expressa na forma de densidade de fluxo de energia, em  $W.m^{-2}$ .

A radiação solar recebida na superfície da Terra, direta ou indiretamente, pode ser fracionada em três formas de energia (IRVINE et al., 1998):

1. Radiativa: parte da energia recebida é diretamente refletida ou utilizada no aquecimento da superfície do solo, que é então irradiada com base na lei de Stefan-Boltzman, sendo a resultante deste balanço, denominada de saldo de radiação ( $R_n$ );
2. Fluxo de calor turbulento: que corresponde ao fluxo de calor latente (LE) e o fluxo de calor sensível (H); e
3. Energia residual: compreende a energia armazenada na copa das árvores (S), o fluxo de calor no solo (G) e a fotossíntese (P).

De acordo TUBELIS & NASCIMENTO (1992), o saldo de radiação à superfície representa a contabilização entre a radiação de onda curta incidente ( $R_g$ ) e refletida ( $R_r$ ) e a radiação de onda longa incidente ( $R_{la}$ ) e emitida pela superfície ( $R_{ls}$ ). Para esses autores, o saldo de radiação num dossel vegetal representa a quantidade de energia disponível repartida entre os diversos fluxos de energia necessários aos processos de evapotranspiração, de aquecimento do ar e do solo e da fotossíntese.

Para Arya (1988) e Silberstein et al. (2003), os fluxos de energia que ocorrem em uma superfície vegetada são: saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G), energia armazenada na copa das árvores (S) e energia utilizada no processo fotossintético (P). Do ponto de vista do balanço de energia de um dossel vegetal, os dois últimos fluxos são negligenciados devido à pequena representatividade em relação ao saldo de radiação e a sua difícil contabilização (HEILMAN et al., 1994).

Wang & Bras (2001), Moura (2005) e Silva (2005) afirmaram que o fluxo de calor latente (LE) envolve transferência de massa do sistema solo-planta para a atmosfera, sendo o resultado da evaporação da água do sistema ou

condensação do vapor d'água obtido pelo produto do calor latente de evaporação ou condensação pela massa de água evaporada ou condensada. A evaporação pode ocorrer em superfícies livres de água, em solo úmido ou em superfícies vegetadas, quando o ar se encontra com déficit de saturação de vapor d'água na atmosfera. O fluxo de calor sensível (H) para uma superfície é dado pela diferença entre as temperaturas do ar e da superfície, observando-se, contudo, que a temperatura na camada limite varia continuamente com a altura e que, próximo à interface, a transferência de calor ocorre por condução. O fluxo de calor sensível geralmente é dirigido para fora da superfície no período diurno, quando a superfície está mais aquecida que o ar, ocorrendo o contrário durante o período noturno.

A razão entre os fluxos de calor sensível e calor latente foi proposta por Bowen em 1926, como forma de estudar o fracionamento de energia disponível, possibilitando o cálculo da evapotranspiração. A razão de Bowen ( $\beta$ ) é frequentemente inferida pelas medições das diferenças médias de temperatura e umidade através de uma distância vertical fixada acima de uma superfície homogênea qualquer (PIERI & FUCHS, 1990; SOUZA, 2003; CARDOSO et al., 2005).

A razão de Bowen é um método indireto de determinação da evapotranspiração (ETc) das culturas (TODD et al., 2000), e constitui-se num método simples, mas capaz de determinar de forma prática e precisa a evapotranspiração de diversas culturas em diferentes ambientes Casa et al. (2000), Todd et al. (2000), Rana & Katerji (2000), Lopes et al. (2001) e Teixeira et al. (2003).

Para Heilman et al. (1989), Bidlake et al. (1996) e Perez et al. (1999), a aplicação dessa metodologia baseia-se nos seguintes pressupostos:

1. O transporte de massa é unidimensional, sem gradientes horizontais e os sensores que medem os gradientes devem estar localizados dentro de uma subcamada de equilíbrio, no qual os fluxos não variam com a altura.
2. A superfície é considerada homogênea com relação às fontes e sumidouros de calor, vapor d'água e momentum.

3. A razão entre os coeficientes de troca turbulenta de calor e de vapor d'água ( $K_h/K_w$ ) é igual à unidade, o que só ocorre sob condições atmosféricas neutras ou instáveis.

De acordo com Rosenberg et al. (1983), a obtenção dos dois primeiros pressupostos só é possível na presença de uma extensa bordadura (*fetch*), que deve chegar à proporção de 100:1. No entanto, Heilman et al. (1989) obtiveram resultados com precisão aceitável para medidas da razão de Bowen, com valores entre a distância e a altura do sensor mais alto atingindo 20:1.

Todd et al. (2000) relatam que a utilização da razão de Bowen pode ser vantajosa em relação a outros métodos, porque: possibilitam medidas simples e contínuas; não necessitam de informações sobre as características aerodinâmicas da superfície em estudo; possibilitam a integração do fluxo de calor latente sobre extensas áreas; fornecem medidas em pequeno espaço de tempo (menor que uma hora). Relatam ainda, que o método apresenta, como desvantagens: a influência da sensibilidade dos instrumentos que medem os gradientes e os termos do balanço de energia; a descontinuidade dos dados, quando  $\beta$  aproxima-se de -1, ao mesmo tempo que precisa de uma bordadura (*fetch*) adequada. Esses autores, trabalhando com alfafa em região semi-árida dos Estados Unidos da América, observaram que os dados obtidos através da razão de Bowen não foram consistentes, quando o valor de  $\beta$  foi menor que zero; isso ocorreu em dias quentes, secos e com vento ou quando o LE excedeu o  $R_n - G$ .

Cardoso et al. (2005) reportam que a distância entre o sensor e a superfície vegetada também pode ter influência nos resultados obtidos, pois a colocação de sensores muito próximos da superfície da grama provocou erros nos valores de evapotranspiração pela razão de Bowen, quando o solo estava muito úmido ou próximo à capacidade de campo. Para Pieri & Fuchs (1990), a maior dificuldade na utilização da Razão de Bowen está associada à precisão dos instrumentos de medida, que devem detectar os gradientes de temperatura e pressão de saturação do vapor de água em uma magnitude que possa ser detectada pelos sensores. Eles recomendam que, para

minimizar estes erros, seja feita a mudança da posição dos sensores ao longo da etapa de coleta de dados, ajustando-os ao desenvolvimento da cultura.

Soares (2003) afirma que, embora o método do balanço de energia, utilizando a razão de Bowen, resulte em estimativas válidas da evapotranspiração, perde em precisão, se  $\beta$  for menor que 0,5 e, o cálculo torna-se indeterminado se  $\beta = -1$ . Para reduzir os efeitos da advecção, pode-se utilizar a metodologia proposta por Unland et al. (1996). Soares (2003) afirma ainda que a metodologia alternativa a qual utiliza como critério de aceitação/rejeição o intervalo  $-0,7 \leq \beta \leq 0,7$  aplicado aos valores de  $\beta$  – determinados com base na metodologia de Bowen – também propicia a obtenção de valores de  $\beta$  bastante próximos àqueles calculados por meio da metodologia proposta por Unland et al. (1996). Segundo Viana et al. (2003), para que a estimativa da evapotranspiração, utilizando a Razão de Bowen, seja adequada, é necessário um gradiente de pressão de vapor d'água maior que  $0,3 \text{ kPa.m}^{-1}$ .

O valor da razão de Bowen ( $\beta$ ) depende das condições de umidade da superfície evaporante. Se a superfície estiver úmida, uma fração maior do saldo de radiação ( $R_n$ ) é utilizada na forma de calor latente (LE), o que acarretará valores pequenos de  $\beta$ , se a superfície evaporante estiver seca, a maior fração de  $R_n$  é utilizada para o aquecimento do ar, acarretando um elevado valor de  $\beta$ . Se os valores de calor latente (LE) e calor sensível (H) são negativos, o fluxo ocorre da superfície para a atmosfera e se são positivos, no sentido contrário. Desse modo, o sinal de  $\beta$ , depende apenas do sinal de H. Se este for positivo,  $\beta$  será negativa; se for negativo,  $\beta$  será positiva. Isso implica em que o fluxo de calor sensível ocorre do ar mais quente para a superfície mais fria, condição, que geralmente caracteriza advecção ou inversão térmica. Para Pereira et al. (1997), o valor de LE pode até ser superior a  $R_n$ , uma vez que H representa um adicional de energia disponível à superfície evaporante.

Angus & Watts (1984) afirmam que sob condições úmidas, o método do balanço de energia com base na razão de Bowen apresenta bons resultados na estimativa de evapotranspiração de uma comunidade vegetal. Contudo, esse método não é preciso em condições secas ou com considerável advecção de energia em condições úmidas. Para Silva et al. (2005a), em

regiões onde ocorrem advecções fortes, a importância relativa do saldo de radiação decresce e a advecção ou transferência de calor sensível das áreas circunvizinhas podem contribuir no processo evapotranspirativo ao disponibilizar mais energia que aquela já disponível à área considerada, aumentando, assim, a importância da velocidade do vento e da umidade relativa, no processo evapotranspirativo das culturas.

Bidlake et al. (1996), trabalhando com quatro tipos diferentes de vegetação nativa em condições naturais, no Estado da Flórida (USA), verificaram que o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen apresentou boa correlação para as áreas de pradaria seca e de pântano, quando a energia disponível foi determinada de forma precisa e a área de bordadura era suficiente. O estudo efetuado por esses autores para floresta de pinheiros silvestres e de ciprestes em áreas pantanosas, contudo, indicou que a determinação da evapotranspiração pela razão de Bowen não se mostrou satisfatória. Eles argumentam que a diferença de rugosidade na copa da comunidade vegetal induzida pelas alturas individuais das árvores provoca gradientes horizontais no fluxo vertical. Para os autores, a presença de gradientes horizontais, invalida o pressuposto de que a razão de Bowen só pode ser utilizada se o transporte de massa for unidimensional, sem gradientes horizontais, e que os instrumentos estejam em uma subcamada de equilíbrio, no qual os fluxos não variam com a altura.

Prueger et al. (1997) verificaram que a determinação do LE, utilizando o método da razão de Bowen, induzidos pelas diferenças individuais das árvores, apresenta limitações nos períodos próximos ao nascer e ao pôr-do-sol, em função dos pequenos gradientes de temperatura e de déficit de pressão de vapor, acarretando uma aproximação dos valores de  $\beta$  para -1 e  $\infty$ . Estes autores afirmam, ainda, que condições similares podem ocorrer com culturas com cobertura de solo não uniforme e sob condições advectivas, normalmente encontradas em regiões semi-áridas.

Cunha et al. (1996) ao utilizarem esta metodologia para determinar os valores dos componentes do balanço de energia para alguns dias do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, observaram que 80% do saldo de radiação foi utilizado na forma de calor latente (LE), 14%, na forma de calor sensível (H) e 6%, na forma de fluxo de calor no solo (G).

Na determinação das necessidades hídricas da mangueira irrigada na região semi-árida do rio São Francisco, nos anos de 1998 e 1999, utilizando a razão de Bowen para estimar a evapotranspiração da cultura, Silva et al. (2006), obtiveram evapotranspiração média de  $4,4 \text{ mm.dia}^{-1}$  e partição do saldo de radiação de 77,68% para o fluxo de calor latente (LE), 18,01% para o fluxo de calor sensível (H) e 4,36% para o fluxo de calor no solo (G). Em 1999, o consumo médio da mangueira foi de  $4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ , com um fracionamento do saldo de radiação de 83,37% para o LE, 11,40% para H e 5,66% para G.

Rodrigues (2003), trabalhando em Barbalha, CE, com o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, utilizando o método da razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração, observou um consumo de água, durante o ciclo da cultura, de 517,07 mm; o fluxo de calor latente (LE) correspondeu a 89% do saldo de radiação, o de calor sensível (H) a 7% e o fluxo de calor no solo (G), a 4%.

Soares (2003), no Vale do São Francisco, utilizando a mesma metodologia para determinação da evapotranspiração da videira, obteve valores de 496,87 e 472,81 mm, para os anos de 2000 e 2001, respectivamente.

Em trabalho realizado na mesma região com a cultura da goiabeira, Moura (2005), utilizando o método da razão de Bowen, observou evapotranspiração mínima de  $2,9 \text{ mm.dia}^{-1}$ , na fase de crescimento vegetativo, e máximo de  $6,33 \text{ mm.dia}^{-1}$ , no final das fases de crescimento dos frutos, maturação e colheita. A repartição do saldo de radiação observado foi em média 90,7% para o LE, 12,3% para o H e 3,6% para o G.

Souza (2003) em pesquisa realizada na Paraíba com a cultura do abacaxizeiro, utilizando o balanço de energia com base na razão de Bowen, observou um consumo total de água para a cultura de 1.358 mm, correspondendo a um consumo médio de  $4,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Ao analisar o fracionamento dos componentes do balanço de energia em relação a  $R_n$ , durante o ciclo da cultura, ele observou que o fluxo de calor latente (LE) variou de um mínimo de 75%, na colheita, a um máximo de 86%, nas fases de crescimento vegetativo e de formação do fruto; o calor sensível (H) foi 10% na fase de crescimento vegetativo; enquanto na fase de florescência/queda

de flores foi 25%; o fluxo de calor no solo (G), variou de 4%, na colheita, a 14% na fase de crescimento vegetativo.

Silva et al. (2005a), trabalhando com pastagem, determinaram a evapotranspiração do capim Tanzânia, utilizando o método da razão de Bowen e observaram um consumo médio de 4,13 mm.dia<sup>-1</sup>. Observaram, ainda, a ocorrência de advecção durante os períodos mais secos. Mas afirmam que, mesmo tendo havido efeito advectivo, a determinação da evapotranspiração por meio deste método apresentou boa correlação, com dados de lisímetro de pesagem.

Trabalhando com alface em ambiente protegido, Viana et al. (2003) obtiveram baixos valores de correlação entre a evapotranspiração determinada pelo lisímetro de pesagem e pela razão de Bowen, apresentando coeficiente de determinação de 0,4329. Eles afirmam que a baixa correlação decorre do pequeno gradiente de pressão de vapor d'água no interior do ambiente protegido em decorrência do menor efeito do vento no interior da estufa, provocando um aumento na umidade relativa.

### **2.3. Eficiência de uso de água no algodoeiro**

O Brasil, embora seja um país com elevada disponibilidade de recursos hídricos – aproximadamente 18% do potencial de águas superficiais do planeta (CHRISTOFIDIS, 1999), apresentava em 1996, uma área irrigada correspondendo a apenas 4,8% da área cultivada, embora ela fosse responsável por 16% da produção agrícola total e por 35% do valor de produção. Observa-se que, embora a disponibilidade de água no Brasil seja bastante elevada, a distribuição destes recursos hídricos, ocasionam problemas em decorrência de sua localização. De acordo com Christófidis (1999), 89% do potencial de águas superficiais no Brasil ocorrem nas regiões Norte e Centro-Oeste, nas quais a precipitação pluviométrica é elevada e bem distribuída, a concentração demográfica é de 14,5% do total do país e a demanda de água 9,2%; já nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste, onde estão localizados 85,5% da população nacional, a demanda por água é de 90,2% da do país, apenas 11% das águas superficiais estão disponíveis.

Considerando-se que a agricultura é a grande responsável pelo consumo da água no mundo e que há uma grande necessidade de

incremento da área irrigada, para manter os atuais níveis de incremento na produção de alimentos e fibras, torna-se urgente o aumento da eficiência de uso de água para que se possa aumentar a produção agrícola sem incrementos na quantidade de água aplicada às culturas. A atual eficiência de irrigação a nível mundial, em torno de 37% em média torna imperioso o aumento da eficiência do uso de água, como forma de incrementar a área irrigada, mantendo os atuais níveis de utilização dos recursos hídricos do planeta (MARTINEZ-ÁUSTRIA, 2003). No entanto, de acordo com este mesmo autor, estudos sobre medidas destinadas a obtenção de um uso mais eficiente do recurso hídrico não tem sido suficientemente impulsionados até o momento; o modelo tecnológico até agora utilizado, baseado na exploração dos recursos naturais, está esgotado. É necessária uma radical mudança no enfoque do uso indiscriminado do capital natural, à sua conservação e ao seu aproveitamento em equilíbrio ambiental.

A partir do último quarto do século passado, a comunidade científica tem focado suas atenções nos problemas associados ao uso da água com vistas ao aumento da produção das culturas. Essa preocupação tem contribuído para que se entenda o papel da água na agricultura irrigada. A visão dos técnicos vinculados à área de irrigação tem sido direcionada em três segmentos: o primeiro grupo direciona seus trabalhos visando obter informações sobre a quantidade de água que a planta necessita para que a cultura tenha o máximo de rendimento; o segundo busca obter a máxima eficiência de uso da água, ou seja, o objetivo é obter o máximo rendimento da cultura com a maximização da quantidade de água aplicada; o terceiro busca o máximo uso econômico da água, isto é, que a quantidade de água aplicada à cultura deve aumentar até o ponto em que o custo de água seja superado pelo lucro decorrente do acréscimo obtido no rendimento (VAUX & PRUITT, 1983).

A resposta das plantas é o resultado de uma complexa interação de vários processos fisiológicos que podem ser afetados de modo diferente em função do déficit de água na planta (VAUX & PRUITT, 1983). De acordo com Hsiao & Bradford (1983), as mudanças provocadas pelo estresse hídrico dependem da severidade e duração do mesmo. Para Taylor & Willatt, (1983), há grande evidência de que a eficiência de uso de água pelas plantas varia

entre as espécies no mesmo ambiente, entre diferentes condições climáticas, entre sítios e estação do ano. Kudrev (1994) considera que a água exerce influência em diversos processos como assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, expansão foliar e partição de fotoassimilados para os diversos órgãos das plantas. A redução na quantidade de água disponível às plantas leva à aceleração da respiração, ao aumento da atividade das enzimas hidrolíticas e à redução na atividade fotossintética.

Segundo Lamaud et al. (1996), a eficiência de uso de água representa a capacidade que a vegetação possui em assimilar carbono, enquanto limita as perdas de água, através dos estômatos. Por sua vez, Stiller et al. (2005) reportam que a correlação entre as características fisiológicas associadas à eficiência de uso de água ou à tolerância ao estresse no algodoeiro tem sido pouco utilizados, em função da dificuldade em associar estas características fisiológicas, em um grande número de plantas com baixa herdabilidade, às complexas relações entre características fisiológicas e produção. Estudando o efeito de caracteres fisiológicos, buscando uma maior eficiência de uso de água de diferentes genótipos de algodoeiro, eles observaram que a fotossíntese líquida foi afetada pelos genótipos, ao passo que não houve diferença significativa para a relação concentração de CO<sub>2</sub> nas células e concentração de CO<sub>2</sub> no meio ambiente. Por sua vez, Grismer (2002) afirma que a eficiência de uso de água depende da capacidade de assimilação de CO<sub>2</sub> da planta, conseqüentemente, da eficiência fotossintética da planta ou do tipo da planta.

Em busca do aumento da eficiência de uso de água, vários trabalhos têm sido desenvolvidos, visando o incremento no rendimento do algodoeiro com menor consumo de água. Luz et al. (1997), trabalhando com o algodoeiro CNPA Precoce 1, efetuando a reposição de água com base em 50% da água disponível, obtiveram uma eficiência de uso de água de 0,67 kg.m<sup>-3</sup>. No município de Sousa, PB, Nápoles et al. (1999a) obtiveram eficiências que variaram de 0,35 a 0,51 kg.m<sup>-3</sup> para a cultivar CNPA 7H, em função da época de corte da irrigação. Cetin & Bilgel (2002), em pesquisa com o algodoeiro, onde se compararam diferentes sistemas de irrigação, obtiveram eficiência de uso de água correspondente a 0,49; 0,39 e 0,24 kg de algodão em rama produzido por metro cúbico de água aplicada, para os sistemas de

gotejamento, sulco e aspersão, respectivamente. Eles afirmam que a maior frequência de irrigação com um pequeno volume de água, que mantenha um alto conteúdo de umidade no volume de solo ocupado pelo sistema radicular da cultura é responsável pela maior produtividade do algodoeiro. Jalota et al. (2006) observaram a maior eficiência de uso de água pelo algodoeiro no tratamento que recebeu a maior lâmina de irrigação, em três tipos de solos da Índia, observando-se, contudo, uma diferença muito pequena (0,26 a 0,31  $\text{kg.m}^{-3}$ ) da eficiência em função da água aplicada.

Dagdelen et al. (2006), trabalhando com o algodoeiro na Turquia, obtiveram eficiência do uso de água variando de 0,60 a 0,74  $\text{kg.m}^{-3}$ , sem contudo, haver uma relação direta entre a eficiência e a quantidade de água aplicada. Auja et al. (2005), efetuaram um estudo sobre a eficiência de uso de água no algodoeiro, comparando dois métodos de irrigação (bacias em nível e gotejamento), três doses de nitrogênio (75; 56,25 e 37,5  $\text{kg.ha}^{-1}$  de N) e dois sistemas de plantio (fileiras simples e duplas). Observando-se os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que o sistema de irrigação por gotejamento apresentou maior eficiência de uso de água quando comparado com o sistema por bacias em nível. Praticamente, não foram observadas diferenças entre a eficiência do uso de água nas diversas doses de nitrogênio aplicado e quando se comparou o efeito do sistema de plantio; na irrigação por bacias em nível a eficiência de uso de água foi maior no sistema de fileira simples, contudo, no sistema por gotejamento a eficiência de uso de água no sistema de fileiras duplas superou o sistema em fileiras simples em 55%. Em outro trabalho realizado na Turquia, Yazar et al. (2002), trabalhando com irrigação por aspersão com baixa pressão em vários níveis de esgotamento de água no solo, obtiveram valores de eficiência de uso de água que variaram de 0,556 a 0,675  $\text{kg.m}^{-3}$ .

Hunsaker et al (1998), trabalharam com diferentes manejos de irrigação: reposição de água com 55% da água disponível; reposição com 30% da água disponível; e, manejo misto com reposição à 55% de AD antes e após a frutificação e 30% de AD durante a frutificação, para a cultivar Deltapine 20 na região central do Arizona. Visando avaliar a eficiência de uso de água em dois anos de estudo eles observaram que o tratamento com maior frequência de irrigação (reposição com 30% de AD) foi 5 e 11% maior que o tratamento com

menor frequência de irrigação (55% de AD). Quando eles compararam o manejo misto em relação ao tratamento com menor frequência de irrigação, verificaram uma eficiência de uso de água 6 e 7% maior no tratamento misto em relação a reposição com 55% de AD, nos dois anos de estudo, respectivamente. Quando a comparação foi feita do manejo misto em relação ao manejo com maior frequência de irrigação eles observaram que o manejo misto foi 1% superior no primeiro ano mas o manejo com maior frequência foi 4% superior no segundo ano.

#### **2.4. Análise de crescimento do algodoeiro**

A resposta fisiológica de uma cultura pode ser expressa a partir da análise de crescimento. De acordo com Magalhães (1979), a análise de crescimento pode ser definida como um método descritivo das condições morfofisiológicas e estuda a dinâmica da produção fotossintética.

Para Benincasa (1988), a análise de crescimento baseia-se, fundamentalmente, no fato de que 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento, resulta da atividade fotossintética.

A análise de crescimento é uma técnica utilizada para quantificar os vários parâmetros que expressam o crescimento da planta e foi desenvolvida pelos fisiologistas vegetais da escola inglesa, iniciando com Blackman, em 1919, Briggs e outros, em 1920, e Watson, em 1952. Essa metodologia é considerada internacionalmente como método padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária das comunidades vegetais (RODRIGUES, 2003).

Esse método descreve as condições morfofisiológicas das plantas em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética avaliada a partir da acumulação de matéria seca (MAGALHÃES, 1979), deste modo possibilita a avaliação do crescimento das plantas, como um todo, e, a contribuição dos diferentes órgãos da planta no crescimento total, podendo, desse modo, estimar de forma precisa, as causas da variação no crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas que se desenvolvem em ambientes distintos (BENINCASA, 1988).

O método da análise de crescimento tem sido utilizado por vários fisiologistas, principalmente pelos que buscam estudar as diferenças do crescimento provocadas por características genéticas da própria planta ou pelas diferenças induzidas pelo ambiente. O uso desse método é apropriado quando são considerados os conceitos básicos da análise de crescimento e os critérios essenciais para a obtenção dos dados. Se o pesquisador não estiver atento ou não tiver pleno conhecimento da importância desses aspectos, dificilmente conseguirá estabelecer as correlações necessárias entre as diversas observações. A dificuldade decorre do fato de que em muitas ocasiões o crescimento de uma planta ou comunidade vegetal resulta da interação de mecanismos físicos e bioquímicos bastante complexos, muitas vezes desconhecidos. Assim, depara-se muitas vezes com situações difíceis de explicar porque fogem à sua lógica. Porém, independente das dificuldades inerentes à própria ignorância do pesquisador sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, esse método ainda constitui num dos métodos mais acessíveis e precisos para avaliar o crescimento e inferir a contribuição dos diferentes órgãos e processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (BENINCASA, 1988).

De acordo com Navarro Jr. & Costa (2002), o conhecimento da relação entre características de crescimento e desenvolvimento da planta com componentes de rendimento dos genótipos é determinante para a definição de um tipo de planta mais produtiva. Por sua vez, Favarin et al. (2002) informam que a área foliar de uma cultura é uma variável indicativa da produtividade, uma vez que o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química. Assim, a área foliar da planta é a base do rendimento de uma cultura (PEREIRA et al., 1997a). O conhecimento da área foliar, de acordo com Silva et al. (2005), permite estimar a perda de água, já que as folhas são os principais órgãos responsáveis pelo processo de transpiração e pelas trocas gasosas que existe entre a planta e o meio ambiente.

Na análise de crescimento podem ser utilizadas, indistintamente, as técnicas clássica e funcional. A técnica clássica caracteriza-se pela estimativa dos valores médios das variações das características de crescimento (fitomassa, índice de área foliar etc.), que são obtidos a partir de duas

amostras sucessivas, tiradas em intervalos de tempos pré-fixados ao longo do ciclo biológico da cultura. Esta técnica requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados. Por sua vez, a técnica funcional ou dinâmica, consiste em adaptar uma função matemática aos dados de crescimento e dela derivar os diversos índices de crescimento (SILVA et al., 2000a).

O conceito de área foliar permitiu aos fisiologistas o melhor entendimento sobre a competição entre plantas quanto à luminosidade, uma vez que esse parâmetro é a relação entre a área foliar e a área compreendida pela cultura, indicando deste modo, a dimensão do sistema assimilatório (CARVALHO, 1995).

As medidas de crescimento vegetal podem ser efetuadas de forma linear, incluindo medição de altura de planta, comprimento do caule, comprimento e largura da folha, diâmetro do caule, comprimento e diâmetro da inflorescência etc. Medidas superficiais, que relacionam a determinação ou a estimativa da área fotossinteticamente ativa, peso e número de medidas estruturais, como unidades morfológicas de folhas, flores e frutos; unidades anatômicas como tipo, número e densidade de células do tecido condutor, número e distribuição dos estômatos (BENINCASA, 1988).

As informações sobre o peso seco total da planta ou de suas frações (folhas, caule, raiz etc.) e a dimensão do aparelho fotossintetizante (área foliar) permitem estimar vários índices fisiológicos, como: taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento absoluto (TCA) e índice de área foliar (IAF), dentre outros, (MACHADO et al., 1982).

De acordo com Silva et al. (2000a), a metodologia clássica dos componentes do crescimento vegetal e os índices fisiológicos podem ser explicados pelas variáveis descritas a seguir:

A taxa de crescimento da cultura (TCC) é o acúmulo de massa seca com o tempo, que é aproximadamente igual à fotossíntese da cobertura vegetal por cobertura vegetal por unidade de área de solo, representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, ou seja, sua produtividade primária.

A taxa de assimilação líquida (TAL) é o acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar durante a estação de crescimento. É uma medida da eficiência fotossintética de uma planta.

A razão de área foliar (RAF) é definida como sendo a razão entre o tecido assimilatório e a fitomassa seca. A RAF é considerada uma medida da capacidade fotossintética de uma planta.

A taxa de crescimento relativo (TCR) descreve a fase exponencial do crescimento de uma planta anual. Ela representa a medida da eficiência da produção de nova matéria seca sobre a já existente.

A razão de peso foliar (RPF) é a razão entre a massa seca dos folíolos e a fitomassa total das plantas. A RPF identifica a percentagem de tecido assimilatório na fitomassa total.

A área foliar específica (AFE) é a razão entre a área foliar e a massa seca das folhas. É a medida da expansão média da folha, em área por unidade de massa seca foliar.

Para estudarem os efeitos da temperatura sobre a eficiência do uso de radiação e trocas gasosas em amendoim, Bell et al. (1992) usaram a taxa de crescimento da cultura (TCC) como referência. Por sua vez, Silva et al. (1995) utilizaram a taxa de crescimento da cultura e a taxa de crescimento relativo para avaliarem os efeitos de diversas lâminas de irrigação sobre o amendoim. Wright et al. (1994), também trabalhando com amendoim, para avaliarem a eficiência do uso de água e as trocas gasosas da cultura, utilizaram como referência a taxa de crescimento relativo (TCR) e a área foliar específica (AFE).

Alves et al. (1997), estudando a influência da área foliar do algodoeiro a partir de diferentes tipos de folhas (normal, intermediária e okra) sobre a abertura dos capulhos, constataram que o genótipo com folha okra apresentou a menor área foliar, 2.000 cm<sup>2</sup> por planta, em comparação com a folha normal e a intermediária, com área foliar de 4.000 cm<sup>2</sup>. No entanto, o tratamento com a folha okra apresentou a maior percentagem de capulhos sadios, com valor médio de 73,69% e uma menor percentagem de carimãs. Por sua vez, Silva et al. (2005), estudando o comportamento de crescimento de oito linhagens de algodoeiro, concluíram que a percentagem de interceptação de luz das linhagens de algodoeiro foi influenciada pelo tipo de

folha; a folha okra e a bráctea frego afetaram a área foliar do algodoeiro e a coloração da planta não interfere neste parâmetro.

Azevedo et al. (1999) informam que a curva de crescimento do algodoeiro herbáceo caracteriza-se por um início lento e uma fase de crescimento muito rápida, quase linear, que finaliza no início da floração; sendo, a luminosidade um fator climático de fundamental importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produção do algodoeiro.

Cordão Sobrinho et al. (2005), estudando o efeito da lâmina de irrigação e do regulador de crescimento sobre o algodoeiro BRS 200 – Marrom, observaram que dentre as variáveis estudadas, o diâmetro caulinar foi influenciado pela lâmina de água, não tendo sido observado efeito do regulador de crescimento. Resultados semelhantes foram observados quando se analisou a altura média das plantas. A área foliar por planta foi afetada pelas diferentes lâminas de irrigação e só foi observado efeito significativo do regulador de crescimento entre os 20 e 40 dias após a emergência; com relação a fitomassa fresca total, no geral, foram observados efeitos significativos para a lâmina de água, não ocorrendo efeito para o regulador de crescimento.

Ao estudarem a partição dos assimilados na formação do peso seco das plantas de algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom em função da lâmina de água aplicada e do regulador de crescimento, Alves et al. (2005) verificaram que o aumento da lâmina de água produziu uma redução na produção de raiz, direcionando maior percentagem de assimilados para a produção de caule e folhas, o que causou um efeito linear positivo nas duas últimas variáveis. Esse efeito não foi observado quando se analisaram as diferentes doses de aplicação de regulador de crescimento. Independentemente da dose, os maiores percentuais de assimilados foram direcionados, em ordem decrescente, para as folhas, caule e raiz e as diferentes doses deste insumo não provocaram diferenças entre a partição dos assimilados.

## **2.5. Eficiência econômica da cultura**

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a disponibilidade de água para a irrigação é bastante escassa e diminui rapidamente em decorrência do aumento da população, o que tem provocado competição com outros usos:

humano, animal e industrial. Este fato impõe um uso mais eficiente dos recursos hídricos, tanto em termos físicos como econômico, uma vez que o custo de energia na irrigação se constitui um dos fatores de produção que onera a atividade agrícola irrigada. Com a escassez no suprimento de água e o aumento da demanda de alimentos em muitas partes do planeta, a necessidade de otimização do uso dos recursos de água é fato que cada dia merece mais destaque (DANTAS NETO, 1994).

Para Frizzone (1998), ao se exigir que a função de produção represente o máximo que se pode obter do produto para uma determinada tecnologia adotada, utilizando-se uma certa combinação de insumos, está a se buscar uma relação funcional entre os insumos e produto, sendo Y a quantidade produzida em decorrência da utilização dos vários insumos que participam do processo e se transformam em Y. Certamente, existe uma relação funcional entre vários fatores e a produção das culturas, característica de cada condição ambiental (FRIZZONE & ANDRADE JR., 2005).

Nos empreendimentos agrícolas os recursos de água e energia devem ser otimizados, possibilitando a utilização dos demais insumos de produção e, conseqüentemente, a obtenção de maiores produtividades com uma combinação melhor dos insumos empregados (AZEVEDO, 2002).

O conhecimento das funções de produção ou superfície de resposta é fundamental para auxiliar na tomada de decisão, uma vez que essas funções determinam as interseções entre os diversos fatores que afetam a produtividade e, ainda, possibilitam escolher as condições mais relacionadas à realidade regional, de modo, a promover um manejo racional da irrigação, com bases técnicas e economicamente viáveis. Quando o aporte de água disponível é adequado e atende perfeitamente as necessidades hídricas do cultivo e os outros fatores de produção não são limitantes, o rendimento é máximo. Quando a água disponível é limitada, o rendimento é determinado pela umidade disponível para atender a demanda da cultura, durante todo o ciclo (BERNARDO, 1995).

Doorenbos & Kassan (2000) definem o rendimento máximo de um cultivo ( $Y_m$ ) como sendo o rendimento obtido de uma variedade de grande produção, bem adaptada ao ambiente edáfico onde se desenvolve, incluindo o tempo necessário para completar sua maturação fisiológica. Em tais

condições seu rendimento não está limitado pela água, pelos nutrientes, pelas pragas nem pelas enfermidades.

De acordo com Vaux & Pruitt (1983), os estudos sobre função de produção em função da água podem ser agrupados em dois grandes grupos: o primeiro, onde estão envolvidos os estudos empíricos, segue a teoria econômica tradicional, em que a questão do momento oportuno da aplicação da água de irrigação é ignorada. Nesse caso, os estudiosos recorrem ao uso de métodos estatísticos para obter as funções de produção dos dados; sendo os estudos realizados a partir da premissa de que as irrigações são sempre efetuadas no momento oportuno, ou seja, o conteúdo de água no solo está sempre adequado para o crescimento e o desenvolvimento da cultura. No segundo, denominado estudos teóricos, adota-se o critério de que os efeitos do momento de aplicação de água e a interrelação entre a água aplicada e o uso da água pela planta tem importância suficiente para serem levados em conta pela teoria econômica das funções de produção e do efeito da água sobre os cultivos. De acordo com estes autores, para se obter o máximo rendimento de uma área irrigada, procura-se fazer uma programação de irrigação, visando-se as seguintes metas:

1. Otimizar a irrigação para obter o máximo de produção por área irrigada;
2. Maximizar a produção por unidade de água aplicada pela irrigação;
3. Maximizar os benefícios econômicos da exploração agrícola;
4. Economizar ou minimizar as necessidades de energia.

De acordo com Juan Valero & Olalla Mañas (1993), a curva (Y) que representa, em termos econômicos, a resposta de uma cultura à água, apresenta um máximo de rendimento para uma evapotranspiração máxima; uma aplicação excessiva de água, acima da ET<sub>m</sub>, é prejudicial ao rendimento. Para esses autores, a maximização da produção por unidade de superfície, corresponde ao ótimo agrônomo. Esse objetivo pode ser justificado economicamente em situações em que a água seja abundante, o produto bruto por hectare, elevado e os custos de irrigação baixos. Eles afirmam, ainda, que, do ponto de vista da aplicação de água, o objetivo de maximizar a produção é alcançado, quando os sistemas de irrigação com que se conta são capazes de proporcionar água suficiente para a cultura

satisfazer sua demanda evapotranspirativa, mantendo um alto potencial hídrico no solo, ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura.

O trecho da curva da relação produção x água aplicada até 50% da quantidade que resulta na produção máxima pode ser considerada uma reta; a partir deste ponto, os acréscimos de água correspondem a ganhos progressivamente menores, até o ponto de máxima produção, a partir do qual, os acréscimos são negativos.

De acordo com Frizzone (1993), a representação gráfica dos custos de operação e a aplicação de água são uma reta e a função que representa a receita líquida é uma curva. A quantidade de água ( $L^*$ ) que proporciona a receita líquida máxima é inferior à quantidade de água ( $L_m$ ) que proporciona a máxima produção. Dependendo do nível tecnológico, para um mesmo volume de água utilizado, em três situações de eficiência tecnológica decrescente, obtém-se, conseqüentemente, menor eficiência econômica e menor produtividade marginal.

De acordo com Frizzone & Andrade Jr. (2005), pode-se expressar as variáveis da função de produção água-cultura de diferentes maneiras. A variável independente "água" pode ser transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura, estado de água no solo, etc. Para o usuário da irrigação, é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte dela seja utilizada no processo de evapotranspiração.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área Experimental

O experimento de campo foi conduzido na área experimental da Embrapa, localizada no município de Barbalha, CE, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: Latitude: 07°19'S, Longitude: 39°18' W e Altitude: 415,74 m, no período de 05 de setembro a 15 de dezembro de 2005. A classificação climática de Barbalha – CE, é do tipo  $C_1S_2A'a'$  (Thorthwaite & Mather, 1955). Trata-se de um clima seco sub-úmido, com grande excesso hídrico no inverno, megatérmico e com vegetação durante todo o ano. De acordo com os dados de Brasil (1992), as normais climatológicas para esse município no período de 1961-1990 são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Valores médios mensais das normais climatológicas, pressão atmosférica (hPa), temperatura média (°C), temperatura máxima média (°C), temperatura mínima média (°C), precipitação média (mm), evaporação média (mm); umidade relativa média (%), insolação total (h) e nebulosidade do Município de Barbalha, CE, 1961 – 1990.

MÊS	Variáveis Meteorológicas								
	Pres	Tmed	Tmax	Tmin	Prec	Evap	UR	Ins	Neb
Jan	963,8	25,5	32,1	21,2	172,5	160,0	68,0	216,4	7,0
Fev	964,3	24,8	30,9	21,1	191,4	124,3	74,0	191,9	7,0
Mar	964,4	24,5	30,3	20,9	234,3	107,7	80,0	196,4	6,0
Abr	964,9	24,5	30,1	21,2	209,8	100,5	79,0	206,1	6,0
Mai	965,9	24,1	30,0	20,6	48,1	145,8	73,0	224,9	8,0
Jun	967,4	23,8	28,4	19,3	20,8	161,3	67,0	240,0	5,0
Jul	968,4	23,8	29,9	19,1	11,5	224,8	61,0	252,4	7,0
Ago	967,3	24,9	31,7	18,1	5,6	268,7	53,0	281,8	3,0
Set	966,2	26,2	33,3	20,1	5,2	292,8	49,0	276,4	4,0
Out	963,8	26,7	34,1	21,1	2,5	262,9	51,0	268,9	5,0
Nov	963,8	26,8	33,9	21,8	4,8	223,7	53,0	256,4	5,0
Dez	963,8	26,3	33,1	21,7	92,2	216,1	55,0	234,4	6,0
Média/	965,4	25,2	31,5	20,5			63,6		5,8
Soma					1001,4	2288,6		2848,0	

### 3.2. Solo da área experimental

O trabalho foi realizado em um solo cuja classificação textural e as características físico-hídricas foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. Os resultados para a profundidade de até 1,0 m são apresentados na Tabela 3.2, e as Curvas de Retenção de Umidade, para estas profundidades são apresentadas na Fig. 3.1.

Tabela 3.2. Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Barbalha, CE, 2005.

Granulometria (g.kg <sup>-1</sup> )	Profundidade (cm)					
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 60	60 - 100
Areia	398	378	337	317	297	297
Silte	189	189	189	169	169	149
Argila	413	433	474	514	534	554
Classificação Textural	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso
Densidade do solo (kg.dm <sup>-3</sup> )	1,37	1,36	1,35	1,36	1,38	1,36
Densidade real (kg.dm <sup>-3</sup> )	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
Porosidade (m <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> <sup>-1</sup> )	0,48	0,49	0,49	0,49	0,48	0,49

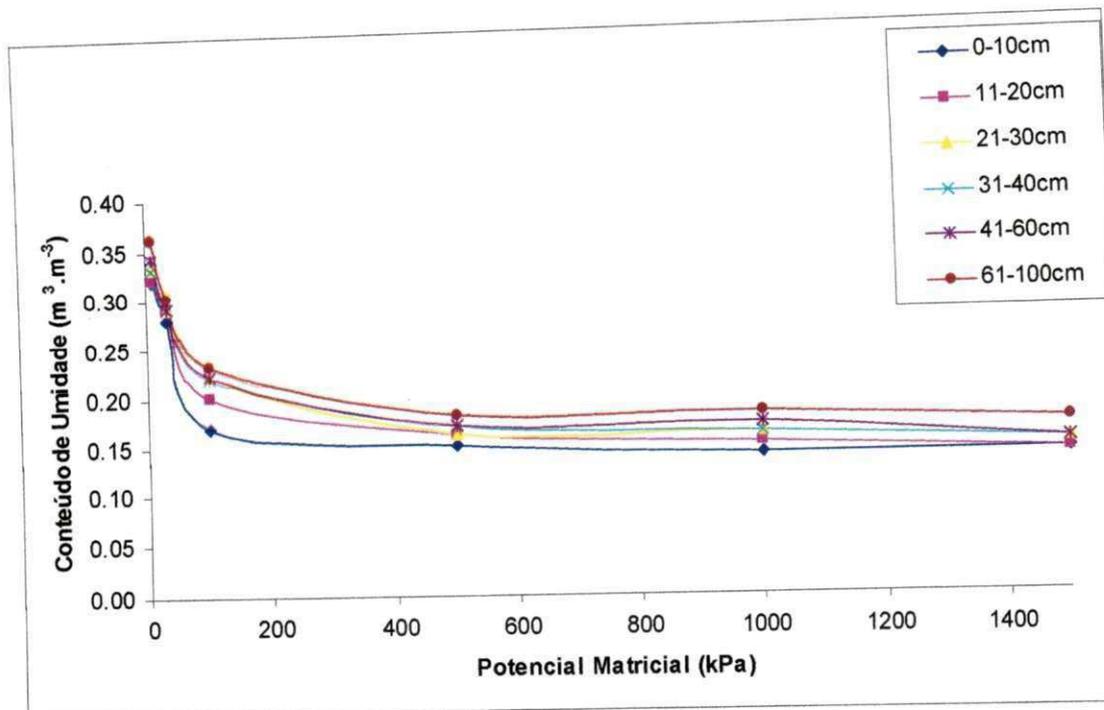


Figura 3.1. Curvas de retenção de umidade do solo da área experimental. Barbalha, CE, 2005.

A análise de fertilidade desse solo apresentou o seguinte resultado: pH = 7,3;  $Ca^{+2} + Mg^{+2} = 186 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $Na^+ = 4,9 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $K^+ = 6,0 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $S = 196,9 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $Al = 0,0 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $P = 12,1 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ ; matéria orgânica =  $19,1 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ .

### 3.3. Cultura estudada

A cultura estudada foi o algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, plantado em fileiras duplas, em uma área de 1,006 ha, com o espaçamento de 1,00 x 0,40 m com 10 a 12 plantas  $\text{m}^{-1}$ , após o desbaste (Figura 3.2).



Figura 3.2. Visão geral da área experimental, com a torre de observação meteorológica. Barbalha, CE, 2005

O preparo do solo constou de uma aração com arado escarificador, seguido de duas gradagens cruzadas, utilizando-se grade niveladora.

A adubação de fundação foi efetuada no fundo do sulco de plantio, numa dose de 30-60-10 kg.ha<sup>-1</sup>, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, utilizando-se sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

O controle de plantas daninhas foi feito com capinas manuais usando-se enxada, mantendo-se a lavoura livre de plantas daninhas, pelo menos durante os primeiros sessenta dias após a emergência.

A adubação de cobertura foi efetuada aos 30 e 45 dias após a emergência, aplicando-se em cada ocasião, 30 kg.ha<sup>-1</sup> de N e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sob a forma de uréia e cloreto de potássio, respectivamente.

Para o controle de pragas, foi utilizado o Manejo Integrado de Pragas, recomendado pela Embrapa Algodão, que consistiu na amostragem das pragas a cada 5 dias, a partir da emergência das plantas, até o final do ciclo da cultura, efetuando-se o combate às praga sempre que se alcançou o nível de controle.

As irrigações foram efetuadas com aspersores Agropolo, com bocais de 3,2 x 5,4 mm, trabalhando com uma pressão de serviço de 2,5 atm e espaçamento de 18 x 12 m, aplicando-se água até uma profundidade de 0,60 m, que corresponde ao perfil atingido pelo sistema radicular da cultura (BEZERRA et al., 1999). Antes do plantio, visando melhorar o desempenho do sistema, foi efetuada uma avaliação de modo a se obter uma maior eficiência na aplicação da água. Antes do plantio, foi efetuada uma irrigação em toda a área para levar o solo à capacidade de campo; após o plantio, a cada quatro dias, foi aplicada uma irrigação com pequena lâmina, para assegurar uma boa germinação das sementes. A partir do estabelecimento da cultura, as irrigações foram efetuadas uma vez por semana, fazendo-se a reposição da água em função do consumo semanal com base no balanço de energia, segundo a razão de Bowen.

A colheita foi feita manualmente de forma fracionada, efetuando-se a primeira, quando, cerca de 60% dos capulhos estavam abertos e a segunda colheita após a completa abertura do restante dos capulhos.

#### **3.4. Parcela experimental**

O trabalho foi realizado em uma área medindo 100,0 x 100,6 m, onde foram dispostas três subáreas com as dimensões de 18,2 m x 100,0 m, nas quais as irrigações foram diferenciadas em função dos tratamentos. No interior da cada subárea experimental, foram selecionadas quatro parcelas compostas de oito fileiras duplas, correspondendo a uma área útil de 11,2 m x 10 m (112 m<sup>2</sup>) cada uma, que serviram para a estimativa da produtividade, de alguns componentes de produção, das características tecnológicas da fibra do algodão e do acompanhamento das características morfofisiológicas da cultura através da análise de crescimento não destrutiva.

Para a análise de crescimento destrutiva as amostras foram coletadas das fileiras duplas adjacentes à área útil, sendo as plantas coletadas completas para determinação da fitomassa total, seca em estufa a 70°C, até as amostras ficarem com pesos constantes.

### 3.5. Análise estatística

Visando a determinação da eficiência de uso de água, da resposta fisiológica e econômica da cultura do algodoeiro BRS 200 – Marrom, foram testados os seguintes tratamentos:

- T<sub>1</sub>. – Aplicação da lâmina de Irrigação correspondendo a 80% da evapotranspiração da cultura (ETc)
- T<sub>2</sub> – Aplicação da lâmina de Irrigação correspondendo a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)
- T<sub>3</sub> – Aplicação da lâmina de Irrigação correspondendo a 120% da evapotranspiração da cultura (ETc)

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela útil constituída de 8 fileiras duplas espaçadas de 1,0 x 0,4 m e com uma densidade de plantio de 10 a 12 sementes por metro, com 10 m de comprimento, correspondendo a uma área de 112 m<sup>2</sup> (11,2 x 10 m).

Os tratamentos estudados foram submetidos à análise de variância, análise de correlação simples, análise de regressão através de polinômios ortogonais (regressão polinomial), sendo os graus de liberdade dos tratamentos decompostos, por se tratar de fatores quantitativos (SANTOS et al., 2003).

Neste trabalho foram avaliadas as variáveis agronômicas: produtividade do algodão em caroço, percentagem de fibra, peso médio de um capulho e peso médio de 100 sementes. Com relação às qualidades intrínsecas da fibra do algodão, foram coletadas em cada parcela, uma amostra padrão de 40 capulhos, que foram encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Fibra e Fios da Embrapa Algodão para análise das características tecnológicas da fibra: comprimento fibrográfico, uniformidade de comprimento, resistência, alongamento, maturidade, índice de fibras curtas, grau de reflexão, grau de amarelo e finura.

Os dados primários da análise de crescimento foram analisados em blocos casualizados com parcelas divididas, dispostas no tempo, em 4 repetições. Nas parcelas principais, foram testados os tratamentos e nas subparcelas, as épocas de coleta, constituídas por cinco períodos, iniciando-

se aos 20 dias após a emergência até os 100 dias após a emergência, com intervalos fixos, de 20 dias entre eles.

Para estimativa de parâmetros a partir de modelos de regressão não lineares, ou seja, aqueles não linearizáveis foram obtidos valores iniciais dos parâmetros para acelerar a convergência do método de estimação utilizado através do método "MARQUARDT", metodologia bastante citado nos estudos envolvendo modelos não lineares (HOFFMANN, 1998).

Neste trabalho, utilizou-se o modelo sigmóide e 
$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{-(\beta + \theta_i)}} + \xi_i,$$

onde  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\theta$  são parâmetros a serem estimados, sendo  $\alpha > 0$  e  $\theta > 0$ .

Este modelo de regressão é indicado para estudos de crescimento de animais e vegetais e vários softwares estatísticos, tais como o SAS e o Statistica, estimam os seus parâmetros. Dentre estes softwares estatísticos, o SAS é o mais utilizado pelos pesquisadores brasileiros devido a sua facilidade de programação.

Os dados das variáveis fisiológicas e de produção foram analisados através de variância e, para o fator lâminas de irrigação, por ser de natureza quantitativa, realizou-se a análise de regressão polinomial, e, para o fator época foi aplicado o teste estatístico de Duncan ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias (FERREIRA, 2000).

Às variáveis de crescimento (altura de planta e diâmetro caulinar), foram analisados por estudos de regressão não linear, especialmente o modelo sigmóide conhecido também por regressão logística (HOFFMANN, 1998). Para a área foliar e fitomassa seca da planta, usou-se um modelo de regressão polinomial cúbica, uma vez que, normalmente não se utiliza o modelo logístico para estas variáveis devido a senescência foliar (CALBO et al., 1989 e 1989a; FERREIRA, 2000).

Todas as análises estatísticas foram procedidas pelo SAS, versão 9.1.3, através dos procedimentos "PROC GLM e PROC NLIN" (SAS/STAT, 2004).

### **3.6. Eficiência de uso de água**

A eficiência de uso da água – EUA foi determinada pela relação entre a produção do algodão em rama – PD (kg) e o volume de água aplicado à

cultura – VA (m<sup>3</sup>), conforme estudado por Doorenbos & Kassan (2000), Yazar et al., (2002) e Viana (2005), cuja expressão é a seguinte:

$$EUA = \frac{PD}{VA} \quad (3.1)$$

### 3.7. Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 – Marrom

Para se determinar a quantidade de água a ser aplicada, estimou-se a evapotranspiração da cultura, através do balanço de energia baseado na Razão de Bowen. Este critério foi adotado para que se pudesse repor a quantidade de água que a cultura efetivamente tivesse consumido no tratamento padrão (Tratamento 2), antes de atingir o nível de estresse, que foi estabelecido como um esgotamento máximo de água no solo de 50% da água disponível na profundidade do seu sistema radicular, conforme Bezerra et al. (2003), e no consumo hídrico desta cultivar, determinado em trabalho anterior (GRANGEIRO, 2004).

### 3.8. Balanço de energia sobre a vegetação

O balanço de energia no sistema solo-planta-atmosfera foi constituído pelo saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G). A estimativa da evapotranspiração da cultura foi obtida a partir da equação simplificada do balanço de energia, conforme Rosenberg et al. (1983):

$$Rn + LE + H + G = 0 \quad (3.2)$$

No balanço de energia definido por esta equação é necessário assumir que os fluxos descendentes são considerados positivos e os ascendentes são considerados negativos (OHMURA, 1982; LOPES et al., 2001). De modo idêntico, Silva et al., (2006) afirmam que neste processo, as densidades de fluxo que chegam à camada vegetativa são positivas, enquanto as que saem são negativas.

A razão entre as densidades de fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) foi proposta por Bowen em 1926. Como volume de controle foi considerada a superfície do solo como limite inferior e o topo da cultura como

limite superior do sistema. A razão de Bowen ( $\beta = H/LE$ ) foi estimada de acordo com a expressão (ROSENBERG et al., 1983):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{P_0 C_p}{L\varepsilon} \left( \frac{Kh}{Kw} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} = \gamma \left( \frac{Kh}{Kw} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.3)$$

De acordo com Verma et al. (1978), na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade atmosférica,  $Kh \cong Kw$ , e

considerando que  $\left( \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \right) \cong \Delta T / \Delta e$  a razão de Bowen pode ser escrita da

seguinte forma:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.4)$$

Os símbolos usados nas equações acima descrevem os seguintes parâmetros:  $k_h$  e  $k_w$  são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água, respectivamente ( $m^2.s^{-1}$ );  $L$  é o calor latente de evaporação da água ( $MJ.kg^{-1}$ );  $C_p$  é o calor específico do ar seco à pressão constante ( $MJ.Kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ );  $P_0$  é a pressão atmosférica média local (kPa);  $\varepsilon$  é a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco (0,622);  $\beta$  é a razão de Bowen;  $\Delta T = t_2 - t_1$  e  $\Delta e = e_2 - e_1$  são as diferenças de temperatura do ar e da pressão parcial do vapor d'água atmosférico, medidas em dois níveis acima da superfície vegetada  $\Delta z = z_2 - z_1$  e  $\gamma$  é o fator psicrométrico ( $kPa.^{\circ}C^{-1}$ ), obtido através da seguinte equação:

$$\gamma = \frac{C_p P_0}{L\varepsilon} = 0,665 \times 10^{-3} P_0 \quad (3.5)$$

A estimativa da pressão parcial do vapor d'água (kPa), nos dois níveis acima do dossel da cultura, pode ser obtida através da equação de Ferrel (VAREJÃO SILVA, 2001):

$$e(T) = e_s(T_u) - 0,00066(1 + 0,00115T_u)(T_s - T_u)P_0 \quad (3.6)$$

sendo:  $e(T)$  é a pressão parcial do vapor d'água (kPa);  $P_0$  é a pressão atmosférica local (kPa);  $T_s$  e  $T_u$  são as temperaturas das termojunções seca e úmida respectivamente, expressas em  $^{\circ}C$ ;  $e_s(T_u)$  é a pressão de saturação do

vapor d'água a temperatura úmida -  $T_u$  (kPa), calculada pela seguinte equação:

$$e^0(T_u) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_u}{T_u + 237,3}\right) \quad (3.7)$$

Para obtenção da densidade do fluxo de calor latente em função do saldo de radiação, do fluxo de calor sensível no solo e dos gradientes verticais de temperatura e vapor d'água, substitui-se a equação 3.3 na equação 3.2 obtendo-se então:

$$LE = -\left(\frac{Rn + G}{1 + \beta}\right) \quad (3.8)$$

A densidade do fluxo de calor sensível foi obtida como resíduo da equação do balanço de energia, conforme a equação:

$$H = Rn - LE - G \quad (3.9)$$

Convém salientar que os resultados obtidos com base nessa equação expressam os valores do fluxo de calor latente (LE), que geralmente são dados em  $W.m^{-2}$ , enquanto a evapotranspiração da cultura normalmente é expressa em mm. Para a obtenção de ETC, em unidades de lâmina de água em um dado intervalo de tempo ( $mm.dia^{-1}$ ), será necessário dividir o valor obtido na equação 3.8 pelo calor latente de vaporização (L), integrando-se os resultados para o período do dia em que houver energia disponível, ou seja, quando  $Rn - G > 0$ .

Para obtenção dos dados necessários à estimativa da evapotranspiração da cultura com base na razão de Bowen, foi instalada uma torre micrometeorológica no interior da área experimental, em uma posição que possibilitasse a obtenção de uma bordadura, capaz de eliminar ou diminuir o efeito advectivo. Nesta torre micrometeorológica foram instalados: dois piranômetros para medição da radiação solar global ( $R_s$ ) e refletida pela cultura ( $R_f$ ); um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação ( $R_n$ ); dois psicrômetros com termopares de cobre e "constantan", instalados em dois níveis, mantidos a 0,30 e 1,50m acima da copa da cultura, variando ao longo do ciclo da cultura em função do desenvolvimento da cultura, com a finalidade de medir as temperaturas do ar em bulbo seco e úmido; dois anemômetros para medir a velocidade do vento, em dois níveis à mesma

altura dos medidores de temperatura; ademais foram instalados dois fluxímetros a 0,02m de profundidade, para medir o fluxo de calor no solo, sendo um entre duas fileiras e outro dentro da fileira de plantas.

Todos estes sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (Datalogger CR 10X, da Campbell Science) e uma placa multiplexadora AM164 (Campbell Scientific), destinados à coleta e armazenamento dos sinais emitidos pelos sensores. O datalogger foi programado para efetuar leituras dos sinais analógicos e digitais a cada 5 segundos e extrair e armazenar as médias em intervalos de 20 minutos. As médias foram coletadas em um módulo de armazenamento e, posteriormente, transferidas para um computador, onde foram processadas em planilhas eletrônicas (Figura 3.3). O sistema de aquisição de dados foi alimentado por uma bateria solar de 12 Volts, mantida em condições de operação com um painel solar de 10 watts.

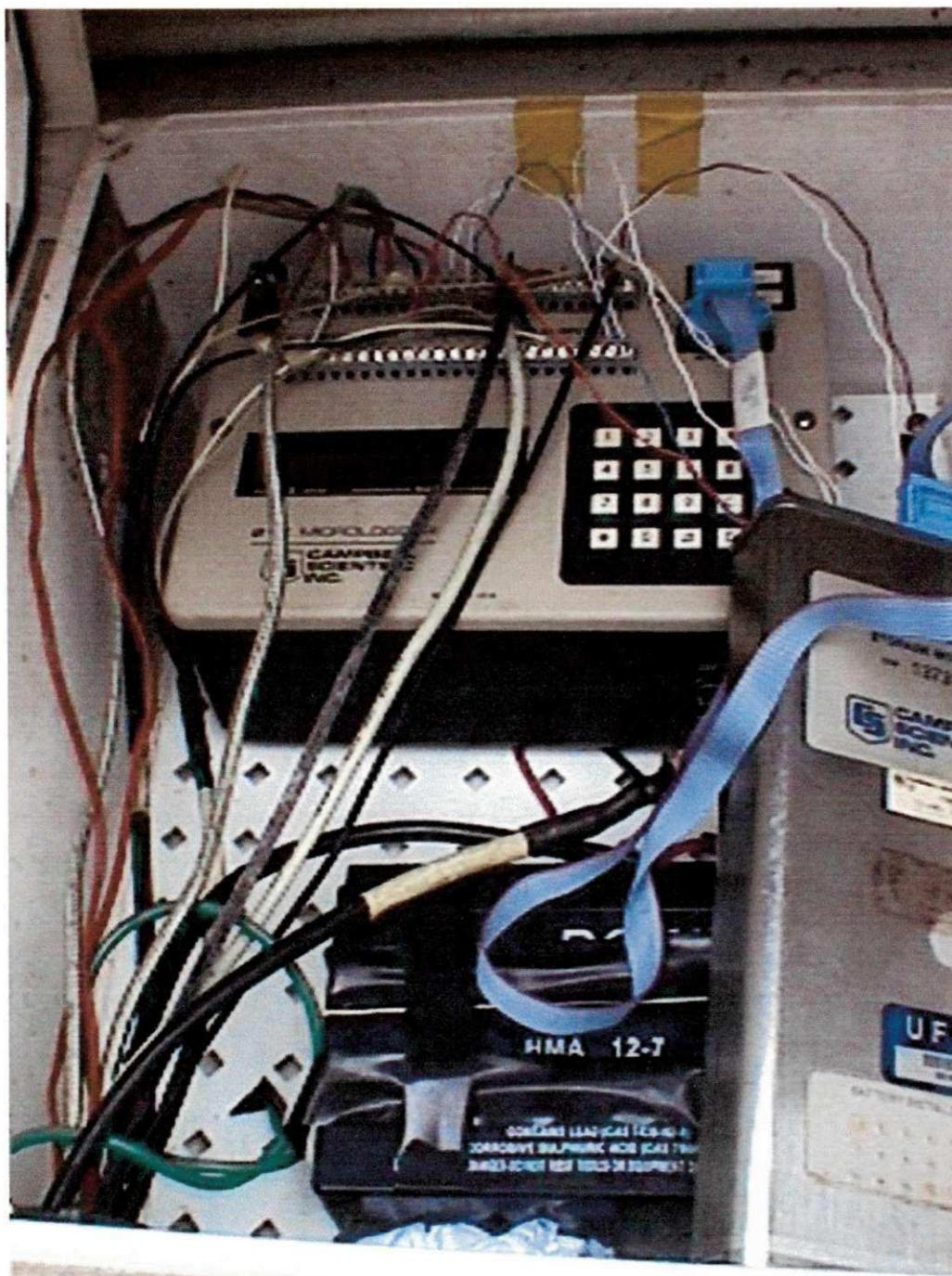


Figura 3.3 – Sistema de aquisição de dados com o detalhe do módulo de armazenamento. Barbalha, CE, 2005.

### 3.9. Análise de crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

A análise de crescimento da cultura foi efetuada visando-se obter a resposta fisiológica da cultura do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, uma vez que, de acordo com Magalhães (1979), ela pode ser definida como um método descritivo das condições morfofisiológicas e estuda a dinâmica da

produção fotossintética. Para Benincasa (1988), a análise de crescimento baseia-se, fundamentalmente, no fato de que 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento resulta da atividade fotossintética.

Para efetuar estas análises, foram realizadas, a cada 20 dias, em cada uma das subparcelas por tratamento, uma amostragem de plantas, onde, a partir da amostragem em 20 plantas (5 plantas por repetição), anteriormente selecionadas e representativas da população da parcela, foram coletados dados para realização da análise de crescimento não destrutiva, que compreendeu as seguintes variáveis:

Altura média de plantas – cada amostragem foi realizada em 20 plantas anteriormente selecionadas, e a altura da planta correspondeu à distância entre a superfície do solo e a extremidade superior da haste principal;

Diâmetro caulinar – do mesmo modo que no parâmetro anterior, as amostragens foram efetuadas determinando-se o diâmetro do caule da planta à altura do colo, utilizando-se um paquímetro metálico, com precisão de 0,1 mm.

Área foliar da planta – a área foliar das plantas foi estimada de conformidade com a equação 3.10, de acordo com o estabelecido por Rodrigues (2003). A área foliar foi estimada a partir da seguinte equação de regressão:

$$AF = 7,7387 e^{0,231 C} \quad (3.10)$$

sendo: C o comprimento da nervura principal da folha do algodoeiro (cm) e AF a área da folha do algodoeiro em  $\text{cm}^2$ .

A área foliar da planta foi estimada a partir da seguinte equação:

$$AFP = \sum_{i=1}^n AF_i \quad (3.11)$$

onde: AFP é a área foliar da planta ( $\text{cm}^2$ ) e n é o número de folhas da planta.

Simultaneamente, foram realizadas as coletas para análises de crescimento destrutivas de cada parcela em cada tratamento, sendo amostradas 5 plantas de tamanho representativo da população. Esse material coletado foi fracionado em caule, folha e raiz e pesado em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Depois de pesadas, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas numa estufa de circulação

forçada, com temperatura de aproximadamente 75°C. As amostras permaneceram em estufa por no mínimo 24 horas, ou até a amostra atingir o peso constante, para assegurar a obtenção do peso seco real. A partir dessa análise, foi efetuado o peso da matéria seca ao longo do ciclo da cultura.

### 3.10. Eficiência econômica do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

A determinação da eficiência econômica foi realizada com a obtenção da relação benefício custo (RBC) de cada um dos tratamentos testados e a taxa marginal de retorno (TMR) obtida a partir da aplicação de diferentes lâminas de irrigação no algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom.

Para realização da análise física e econômica da produção, foram coletadas as informações de quantidade e custo dos insumos, o custo da mão-de-obra utilizada e o custo do preparo de solo, visando estabelecer a curva de melhor resposta, de acordo com a metodologia adaptada de Queiroz et al. (1996). Para tanto foram obtidos as seguintes variáveis:

$P_i$  – Preço unitário de venda do algodão em caroço (R\$.kg<sup>-1</sup>)

$PD_i$  – Produção obtida com a aplicação de  $LI_i$  (kg.ha<sup>-1</sup>)

$LI_i$  – Lâmina de irrigação (mm)

$CIT_i$  – Custo independente do tratamento (R\$.ha<sup>-1</sup>)

$CDT_i$  – Custo dependente do tratamento (R\$.ha<sup>-1</sup>)

$PD_i$  – Produção do algodão em caroço de cada tratamento (kg.ha<sup>-1</sup>)

$RB_i$  – Renda bruta auferida para cada tratamento (R\$.ha<sup>-1</sup>)

$RL_i$  – Renda líquida obtida por cada tratamento (R\$.ha<sup>-1</sup>)

RBC – Relação benefício custo

TMR – Taxa marginal de retorno

O custo independente do tratamento ( $CIT_i$ ) correspondeu a todos os custos de produção, com exceção daqueles diretamente relacionado ao custo da água e de colheita, que variaram em função dos tratamentos estudados. Portanto, o custo independente do tratamento foi determinado a partir da seguinte expressão:

$$CIT_i = (C_{INS} + C_{MO} + C_{PS}) - (C_A + C_C), \quad (3.12)$$

onde:  $C_{INS}$  corresponde ao custo dos insumos utilizados,  $C_{MO}$ , ao custo com mão-de-obra,  $C_{PS}$  ao custo com preparo de solo,  $C_A$  ao custo com água e  $C_C$  ao custo com colheita.

O valor do custo dependente do tratamento ( $CDT_i$ ) foi calculado com base no preço de energia cobrado pela concessionária, relativo ao bombeamento da água para irrigar um hectare, com o sistema de irrigação instalado (ALMEIDA et al., 2004), acrescido do custo de colheita, que variou em função do rendimento obtido, o qual foi calculado segundo a expressão:

$$CDT_i = C_a + C_c \quad (3.13)$$

Com base nestes parâmetros, foram calculadas a renda bruta ( $RB_i$ ) e a renda líquida ( $RL_i$ ) para cada um dos tratamentos estudados, utilizando-se as seguintes expressões:

Para renda bruta:

$$RB_i = P_i \cdot PD_i \quad (3.14)$$

Para renda líquida:

$$RL_i = P_i \cdot PD_i - (CIT_i + CDT_i) \quad (3.15)$$

A relação benefício/custo (RBC), resultante da razão entre os benefícios auferidos pelo sistema de produção e o custo total do sistema, é dada pela expressão:

$$RBC_i = \frac{RB_i}{CT_i} \quad (3.16)$$

A taxa marginal de retorno (TMR), dada em percentagem, pode ser definida pela relação entre a diferença de renda líquida ( $RL_i$ ) auferida entre dois tratamentos em relação ao custo dependente dos tratamentos ( $CDT$ ) entre dois tratamentos testados, pode ser determinada pela equação:

$$TMR_{i-(i-1)} = \frac{RL_i - RL_{i-1}}{CDT_i - CDT_{i-1}} \quad (3.17)$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Fenologia do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

O ciclo fenológico do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom foi dividido em quatro fases (Tabela 4.1) em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos, de acordo com Doorenbos & Pruitt (1979), representada na tabela abaixo.

Tabela 4.1. Ciclo fenológico do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em suas diversas fases de desenvolvimento, no período de 02/09 a 15/12/2005 em seu primeiro ano do ciclo, no município de Barbalha, CE.

Fases do desenvolvimento		Período (dias após emergência)	Número de dias
Fase I	Emergência a 10% de cobertura de solo	1 – 15	15
Fase II	10% de cobertura de solo ao início da floração	16 – 54	39
Fase III	Início da floração ao início da maturação	55 – 85	31
Fase IV	Início ao final da maturação	86 – 105	20
Total			105

A partir das observações efetuadas no campo, verificou-se que a Fase I, correspondente ao período da emergência das plantas até 10% de cobertura de solo, teve duração de 15 dias; a Fase II, que correspondeu à fase do desenvolvimento vegetativo, foi de 10% de cobertura de solo ao início da floração, e durou 39 dias; a Fase III, que correspondeu à fase de desenvolvimento reprodutivo, compreendeu um intervalo que foi do início da floração ao início da maturação, com duração de 31 dias e a Fase IV, que compreendeu à fase final do ciclo da cultura, ocorreu do início ao final da maturação por um período de 20 dias. O ciclo do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom foi completado aos 105 dias após a emergência, o que a caracteriza como uma cultivar de ciclo curto (BEZERRA et al., 1999).

## 4.2 – Evapotranspiração da cultura (ETc) obtida pelo método da Razão de Bowen.

Na Figura 4.1 é apresentado o comportamento estacional da evapotranspiração diária ao longo do ciclo de desenvolvimento do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, para o período de 05/09/2005 a 15/12/2005, período do ciclo da cultura, onde foram estimados os valores de ETc.

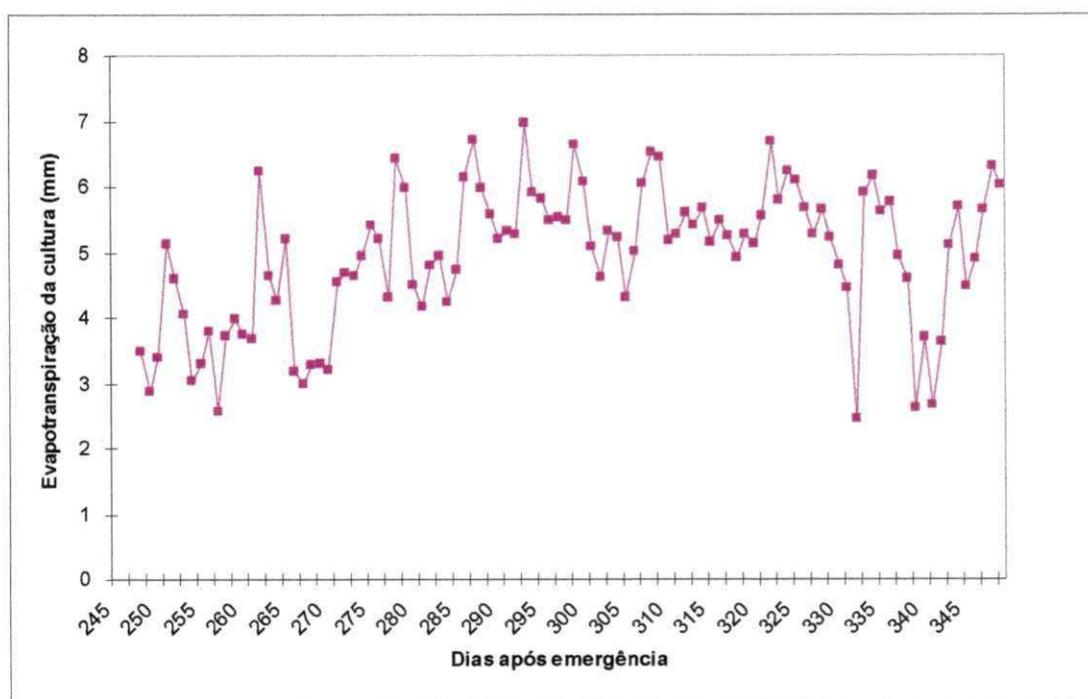


Figura 4.1. Variação estacional da evapotranspiração diária do algodoeiro BRS 200, – Marrom irrigado, obtida pela Razão de Bowen, para Barbalha, CE - 2005

Percebe-se pelos dados da figura que a evapotranspiração da cultura foi bastante variável ao longo do seu ciclo fenológico, apresentando valores extremos com um mínimo de 2,45 mm na Fase IV e um máximo de 6,96 mm, na Fase II do desenvolvimento da cultura. Esse comportamento bastante variável foi observado por Rodrigues (2003) no algodoeiro herbáceo cultivar BRS 201, podendo está associada às variações da demanda atmosférica que influenciam o processo, caracterizada pela radiação solar global, efeito da velocidade do vento e da umidade relativa, conforme referido por Rosenberg et al (1983) e que pode ser visualizado na Figura 4.2 (a), (b) e (c). De acordo

com Souza (2003), esta variação durante a mesma fase fenológica pode ser decorrente das condições meteorológicas locais e da duração da fase fenológica. Por sua vez Moura (2005), informa que o aumento da ETc, decorrente da elevação da demanda evaporativa da atmosfera, dentre outros fatores, é causada pelo aumento da radiação solar global.

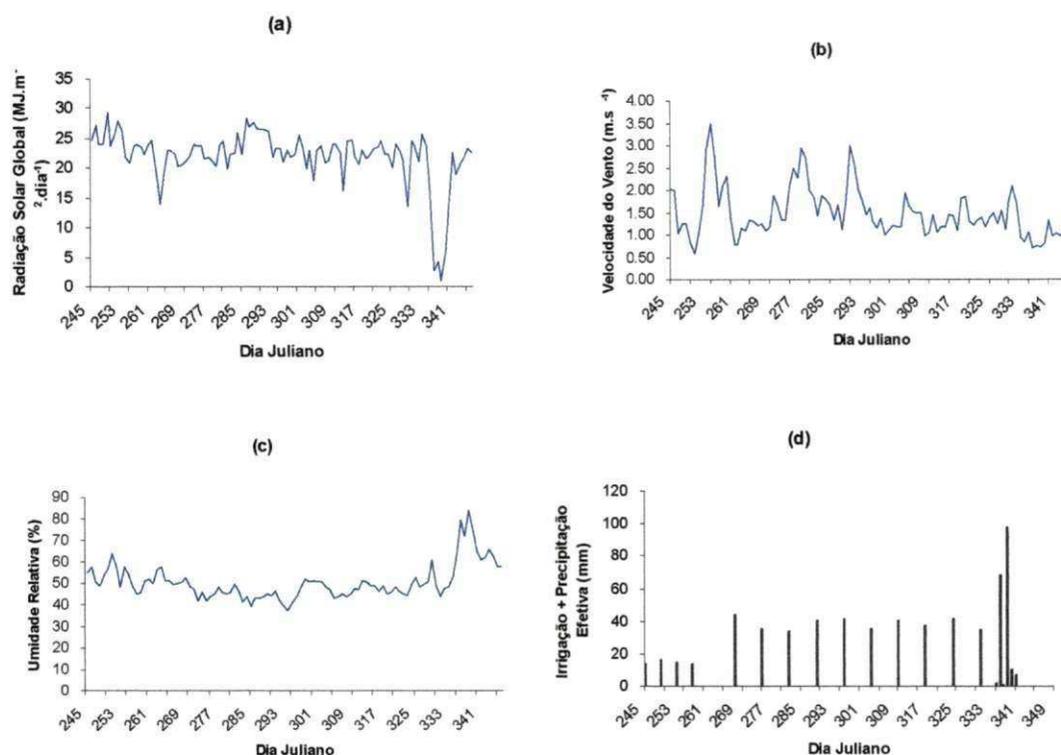


Figura 4.2. Variação estacional da radiação solar global (a), velocidade do vento (b), umidade relativa (c) e irrigação ou precipitação (d), ocorrida no período de cultivo do algodoeiro BRS 200, – Marrom irrigado, em Barbalha, CE - 2005

Observa-se ainda, que de uma maneira geral, a evapotranspiração da cultura apresentou valores mais elevados após as irrigações ou chuva quando em decorrência da maior disponibilidade de água no solo houve uma maior disponibilidade da energia disponível para o processo de evapotranspiração (ROSENBERG et al, 1983 e RODRIGUES, 2003), o que pode ser visualizado nas figuras 4.1 e 4.2 (d). A exceção a esta situação ocorreu no final do ciclo do algodoeiro quando observou-se dois dias consecutivos de intensa nebulosidade e precipitação (Figura 4.2, “d”), acarretando queda na radiação global e velocidade do vento (Figura 4.2 “a” e “b”) e elevação na umidade

relativa (Figura 4.2, "c", o que resultou em baixo valor da evapotranspiração da cultura mesmo com alto conteúdo de umidade do solo.

Quando se analisam os valores médios da evapotranspiração diária, por fase do ciclo fenológico (Tabela 4.2), observa-se que o valor mínimo foi 3,65 mm.d<sup>-1</sup>, no início do desenvolvimento vegetativo (Fase I) e o máximo, 5,54 mm.d<sup>-1</sup>, na fase de desenvolvimento reprodutivo (Fase III).

Observa-se ainda na Tabela 4.2, que a evapotranspiração da cultura foi crescente da Fase I até a Fase III, onde alcançou o máximo, voltando em seguida a decrescer, o que está de acordo com o observado por Bezerra et al. (1994) para o algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H; Azevedo et al. (1993) para a cultivar de algodoeiro herbáceo CNPA Precoce 1 e Pereira et al. (1997a) para as cultivares CNPA Precoce 1 e CNPA 7H. Rodrigues (2003), trabalhando com o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, observou valores de evapotranspiração crescente da fase I para a II, havendo uma redução na fase III e alcançando o máximo na fase IV. Observando-se os dados obtidos por esse pesquisador, verifica-se que o critério adotado para estabelecer os períodos de cada fase fenológica foi diferente daqueles dos autores citados acima, razão pela qual se observa esta discrepância. Por sua vez, Radin et al. (1992), Luz et al. (1997), Bezerra et al. (2003) e Jalota et al. (2006) informam que o período do desenvolvimento reprodutivo do algodoeiro herbáceo, que corresponde á Fase III, é o mais crítico ao déficit de umidade no solo.

Tabela 4.2. Valores médios da evapotranspiração (ETc) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, por fase fenológica. Barbalha, CE – 2005.

Etapas do desenvolvimento		Número de dias	ETc médio (mm.d <sup>-1</sup> )	ETc do período (mm)
Fase I	Emergência a 10% de cobertura do solo	15	3,65	54,75
Fase II	10% de cobertura do solo ao início da floração	39	4,94	192,66
Fase III	Início da floração ao início da maturação	31	5,54	171,74
Fase IV	Início ao final da maturação	20	4,77	95,40
Total		104		514,55

O consumo total de água do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, estimado pela Razão de Bowen, foi 514,55 mm. Utilizando a mesma metodologia, RODRIGUES (2003), obteve em Barbalha, CE, um consumo de 517,07 mm para o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. Para o algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, Azevedo et al (1993), utilizando uma bateria de evapotranspirômetros de lençol freático constante, obtiveram um consumo de 440,0 mm. Utilizando a mesma metodologia, Bezerra et al. (1994) obtiveram um consumo hídrico total de 616,49 mm para o algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H. Sob condições de cultivo protegido, Pereira et al. (1997a) obtiveram um consumo médio de 501,12 e 533,52mm para as cultivares de algodoeiro herbáceo CNPA Precoce 1 e CNPA 7H, respectivamente.

#### 4.3 – Respostas físicas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

Em função do consumo hídrico estimado para o algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, utilizando o método da Razão de Bowen, foram aplicadas na irrigação desta cultura as lâminas de água de 411,6 mm (0,8 ETc), 515,5 mm (1,0 ETc) e 617,4 mm (1,2 ETc), nos tratamentos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>, respectivamente.

Os resultados obtidos dos componentes de produção (rendimento do algodão em caroço, percentagem de fibra, peso médio do capulho e peso de cem sementes) foram submetidos à análise de variância (Tabela 4.3), observando-se que apenas o rendimento foi significativamente afetado pelas lâminas de água aplicadas.

Tabela 4.3. Resumo das análises de variância do rendimento e de alguns componentes de produção do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Rendimento	Percentagem de Fibra	Peso Capulho	Peso 100 Sementes
Tratamentos (T)	2	663333,51*	1,77 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Bloco	3	160703,27 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	168219,64	1,04	0,44	0,31
CV (%)		14,28	2,90	15,79	5,01

\* Significativo ( $F < 0,1$ );

<sup>ns</sup> Não significativo ( $F > 0,1$ )

Observa-se, pelos resultados obtidos, que o rendimento do algodão em caroço foi afetado pelas diferentes lâminas de água aplicadas, apresentando significância ao nível de 10% de probabilidade; os demais componentes de produção (percentagem de fibra, peso médio do capulho e peso de cem sementes) não apresentaram diferenças significativas pela análise de variância. As médias de rendimento do algodoeiro foram submetidas à comparação pelo método de Duncan a 5% de probabilidade e, juntamente com as médias das variáveis testadas, estão apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Resultados médios de rendimento de algodão em rama ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), percentagem de fibra (%), peso médio do capulho (g) e peso de cem sementes (g), do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Tratamentos (mm)	Rendimento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Perc. Fibra (%)	Peso do Capulho (g)	Peso 100 Sementes (g)
T <sub>1</sub> – 411,6	2.476,0 <sup>b</sup>	35,7 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	11,3 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub> – 514,5	2.848,8 <sup>ab</sup>	35,7 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	11,1 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub> – 617,4	3.289,5 <sup>a</sup>	35,6 <sup>a</sup>	3,5 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Observando-se os resultados obtidos, verifica-se que o rendimento do algodão em caroço aumentou com o aumento da lâmina de irrigação; a lâmina de água máxima aplicada (617,4mm) proporcionou o maior rendimento, diferindo estatisticamente pelo teste de Duncan da menor lâmina de irrigação. A resposta do algodoeiro a diferentes lâminas de irrigação já foi comprovada por diversos autores. Pereira et al. (1997a), para as cultivares CNPA Precoce 1 e CNPA 7H; Nunes Filho et al. (1998), para as cultivares CNPA 6H e CNPA Precoce 1 e por Viana (2005), para a cultivar Deltapine Acala 90. Por sua vez, Grismer (2002), Aujla et al. (2005), Dagdelen et al. (2006) e Jalota et al. (2006), observaram que o aumento da lâmina de água aplicada provocou um aumento na produção da fibra do algodão. Bezerra et

al (2004a), também observaram esta tendência, trabalhando com a cultivar objeto deste estudo.

Estes resultados podem estar associados à resposta fisiológica da cultura à maior disponibilidade de água no solo. Em trabalho realizado com as cultivares de algodoeiro CNPA Precoce 1, CNPA Acala 1, CNPA 6H e IAC 20, Oliveira & Campos (1997) verificaram que todos os genótipos apresentaram aumento de rendimento com o aumento do período de maior conteúdo de água disponível no solo, com máximo de rendimento, quando o corte da irrigação ocorreu aos 95 dias. Azevedo et al. (1993) afirmam que, quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas. Wanjura & Upchurch (2002) afirmam que a manutenção do "status" ideal de água na planta, aliado ao controle de outras variáveis como população de plantas, fertilidade de solo, controle de pragas, doenças e ervas daninhas, são fatores essenciais para maximizar a produtividade das culturas. De acordo com estes autores, o potencial de água nas folhas é extremamente sensível às mudanças do conteúdo de água no solo e o "status" de água na planta afeta diretamente a turgescência celular, que concorre para o crescimento dos órgãos vegetativos e reprodutivos das plantas. A disponibilidade de água no solo afeta os processos fisiológicos das plantas e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento da cultura (NÁPOLES et al., 1999; DOORENBOS & KASSAM, 2000) em decorrência dos efeitos sobre o estado de água na planta, sobre a fotossíntese e sobre a expansão foliar (WRIGHT et al., 1994).

Analisando-se os resultados obtidos pelos componentes de produção (percentagem de fibra, peso médio do capulho e peso de cem sementes), pode-se inferir que a não significância observada na análise da variância pode ter sido ocasionada pela pequena diferença entre as lâminas de água aplicadas. Vários trabalhos confirmam a influência do déficit de água sobre estes componentes de produção. Em trabalho realizado com quatro cultivares de algodoeiro Oliveira & Campos (1997) verificaram efeito significativo para estes três componentes de produção quando compararam as quatro cultivares. No entanto, quando compararam o efeito do corte de irrigação, não houve efeito sobre a percentagem de fibra nem sobre o peso do capulho; para

o peso de cem sementes, o efeito foi significativo apenas para o tratamento que recebeu o corte de irrigação aos 50 dias, o que infere ter havido déficit de umidade para a cultura durante toda fase reprodutiva, acarretando, assim, o efeito. Bezerra et al. (2003), trabalhando com a cultivar BRS 201, em condições semelhantes, também não observaram efeito significativo para percentagem de fibra e quando analisaram o peso médio do capulho, observaram que a significância ocorreu apenas nos tratamentos onde o algodoeiro sofreu estresse hídrico na fase reprodutiva. Em outro trabalho, Bezerra et al. (2003a), não observaram efeito significativo para peso médio do capulho e a percentagem de fibra foi afetada apenas pelo tratamento em que o déficit hídrico ocorreu entre os 50 e 70 dias após a emergência. Observa-se por estes resultados que o efeito sobre estes componentes de produção são decorrentes de efeitos do ambiente, provocados por situação de estresse. Como neste trabalho, embora tenha havido aplicações de lâminas de água diferentes, não foram observadas situações de estresse, esses componentes de produção não chegaram a ser afetados. Por outro lado, avaliando-se os resultados obtidos em relação aos dados tomados como padrão para esta cultivar (FREIRE et al., 2001), verifica-se que os valores são muito próximos, o que caracteriza uma resposta de caráter genético deste material.

Os resultados obtidos das características tecnológicas da fibra da cultivar de algodoeiro, BRS 200 – Marrom foram submetidos à análise de variância (Tabela 4.5), não se observando diferenças significativas para estas variáveis.

Tabela 4.5. Resumos das análises de variância dos dados de comprimento de fibra (CF), uniformidade de fibra (UF), índice de fibras curtas (IFC), resistência (RES), alongamento à ruptura (ALR), índice micronaire (IM), maturidade (MAT), reflectância (REF) e grau de amarelo (GAM) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		CF (mm)	UF (%)	IFC	RES (g/tex)	ALR (%)	IM	MAT (%)	REF (%)	GAM
Trat. (T)	2	2,03 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	3,10 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	3,5 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Bloco	3	1,34 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	4,48 <sup>ns</sup>	6,05 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	15,3 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>
Resíduo	6	0,93	4,04	8,43	2,70	0,58	0,19	2,58	5,02	0,63
CV (%)		3,21	2,42	32,3	5,81	12,3	9,94	1,82	4,21	4,67

\* Significativo ( $F < 0,1$ );

<sup>ns</sup> Não significativo ( $F > 0,1$ )

Em vários trabalhos, tem-se observado o efeito da irrigação sobre as características da fibra do algodoeiro. Bezerra et al (2003a) observaram que o estresse hídrico, em determinadas fases do desenvolvimento da cultura, afetou o índice micronaire e o alongamento à ruptura. Em trabalho semelhante, Oliveira & Campos (1997) observaram diferenças significativas para o comprimento, resistência e índice micronaire, não tendo observado diferenças entre a uniformidade e maturidade da fibra; quando eles analisaram o efeito do déficit de umidade, em determinadas fases do desenvolvimento da cultura, o efeito significativo foi observado apenas sobre o comprimento e índice micronaire. Trabalhando com lâminas de irrigação com água residuária, Alves et al. (2006), observaram efeitos significativos da lâmina de irrigação sobre o alongamento à ruptura e o índice micronaire da fibra. Em outro trabalho Alves et al (2006a) detectaram efeito significativo da lâmina de irrigação sobre o índice de fibras curtas; Viana (2005) observou efeito sobre o comprimento da fibra e Nunes Filho et al. (1998), sobre a uniformidade de fibra.

Na Tabela 4.6, são apresentados os resultados médios obtidos para as características tecnológicas de fibra do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação.

Tabela 4.6. Valores médios do comprimento de fibra (CF), uniformidade de fibra (UF), índice de fibras curtas (IFC), resistência (RES), alongamento à ruptura (ALR), índice micronaire (IM), maturidade (MAT), reflectância (REF), e grau de amarelo (GAM) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Trat. (mm)	Valores Médios								
	CF (mm)	UF (%)	IFC (%)	RES (gf/tex)	ALR (%)	IM ( $\mu\text{g.in}^{-1}$ )	MAT (%)	REF (%)	GAM
T <sub>1</sub> = 411,6	29,3	82,4	9,5	28,0	6,2	4,5	88,5	54,4	16,9
T <sub>2</sub> = 514,5	30,2	82,7	9,1	29,2	5,8	4,5	88,7	53,4	16,8
T <sub>3</sub> = 617,4	30,7	83,8	8,3	27,6	6,3	4,2	87,0	51,9	17,3

A não significância observada nestes resultados pode ter sido ocasionada pela ausência de déficit hídrico durante o ciclo da cultura. Embora o ambiente exerça influência na qualidade da fibra do algodoeiro, os principais fatores que interferem na formação da fibra são temperatura, umidade relativa e radiação solar (BELTRÃO et al., 1999a), fatores que não foram afetados pelas lâminas de água aplicada, portanto, a influência ambiental foi idêntica para todos os três tratamentos estudados.

Analisando-se estes resultados, em relação à qualidade da fibra exigida pela indústria têxtil, observa-se que, para a grande maioria das características tecnológicas de fibra, os resultados obtidos estão em conformidade com o padrão estipulado. Para Ferreira & Freire (1999), as características da fibra, determinadas em HVI e padronizadas para a indústria têxtil são: comprimento de fibra > 28 mm, uniformidade da fibra > 45%, índice de fibras curtas < 12%, resistência > 28 gf/tex, finura em micronaire, entre 3,4 e 4,2  $\mu\text{g.in}^{-1}$ , grau de maturidade 0,9 e alongamento à ruptura de 7%.

#### 4.4 – Eficiência de uso de água do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

A partir da relação entre o rendimento do algodoeiro e o volume de água aplicado à cultura, foi determinada a eficiência de uso de água da cultivar BRS 200 – Marrom, cujos resultados foram 0,602; 0,554 e 0,533  $\text{kg.m}^{-3}$ , para os tratamentos que recebem 411,6; 514,5 e 617,4 mm, respectivamente. Resposta semelhante foi obtida por Viana (2005), o qual observou que o

aumento da lâmina de irrigação proporcionou menor eficiência de uso de água pelo algodoeiro herbáceo, cultivar Deltapina Acala 90.

A maior eficiência no uso de água observada no tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação pode estar associada às características genéticas da cultivar, uma vez que se trata de material originário de genótipos do tipo “arbóreo” os quais, dentre suas características, têm o alto nível de resistência à seca (FREIRE et al., 2001). Os valores obtidos estão compatíveis com os resultados obtidos por outros autores. Doorenbos & Kassam (2000) informam que a eficiência de uso de água do algodoeiro de 0,4 a 0,6 kg de algodão em rama produzido por metro cúbico de água, é considerada satisfatória. Viana (2005) observou valores mais elevados para a cultivar Deltapine Acala 90, verificando, contudo, a mesma tendência observada neste trabalho. Este autor obteve valores de eficiência de uso de água de 1,11; 1,01; 0,89 e 0,78 kg.m<sup>-3</sup>, para a aplicação de lâminas de irrigação de 403,4; 499,51; 600,77 e 677,93mm, respectivamente. Testando diferentes níveis de água no algodoeiro com a utilização de aspersão com baixa pressão, Yazar et al., (2002) também observaram o aumento da eficiência de uso de água com a redução da lâmina de água aplicada, com valores que variaram de 0,556 a 0,675 kg.m<sup>-3</sup>. Por sua vez, Bezerra et al., (2004a), em trabalho realizado com o algodoeiro BRS 200 – Marrom, obtiveram valores de eficiência de uso de água que variaram de 0,48 a 0,79 kg.m<sup>-3</sup>.

#### **4.5 – Crescimento e Desenvolvimento do Algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom**

A análise de crescimento é um método descritivo das condições morfofisiológicas e estuda a dinâmica da produção fotossintética (MAGALHÃES, 1979), podendo ser utilizada para avaliar a eficiência fisiológica da cultura, uma vez que 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento, resultam da atividade fotossintética (BENINCASA, 1988).

Na Tabela 7.1 é apresentado o resumo das análises da variância dos dados de área foliar, altura média de plantas, diâmetro caulinar e massa da matéria seca do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação ao longo de seu período de cultivo.

Altura de Plantas – Os valores médios de altura de plantas, obtidos a cada 20 dias, para os tratamentos estudados, podem ser observados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Altura média de plantas (cm) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Tratamento (mm)	Época de Amostragem (Dias após a emergência)				
	20	40	60	80	100
T <sub>1</sub> = 411,6	21,7	49,5	75,4	79,0	84,4
T <sub>2</sub> = 514,5	26,5	58,6	73,9	74,2	79,4
T <sub>3</sub> = 617,4	23,7	64,5	104,2	117,8	121,5

Avaliando-se os resultados obtidos, observa-se que, para todos os tratamentos, houve um incremento linear ao longo do ciclo da cultura. Ao mesmo tempo, observa-se, pela análise de variância, diferença estatística significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, quando se compararam os tratamentos testados. Com a comparação das médias realizadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, observou-se que a maior altura média de plantas (86,26 cm), foi obtida pelo tratamento que recebeu a lâmina de irrigação de 617,4 mm, que diferiu estatisticamente dos outros dois tratamentos os quais apresentaram altura média de 62,53 e 61,98 cm para os tratamentos 2 e 1, respectivamente (Tabela 7.2). Estes resultados corroboram com os de Pereira et al. (1997a) e Souza et al. (1999) que observaram os maiores valores para altura de plantas foram obtidos com os tratamentos que forneceram maior disponibilidade de água ao solo. Viana (2005) também observou efeito positivo da lâmina de irrigação sobre a altura média das plantas.

Quando se compararam as médias das diferentes épocas de determinação da altura das plantas, observou-se diferenças significativas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade; as observações efetuadas aos 80 e 100 dias, apresentaram resultados estatísticos semelhantes, enquanto as observações efetuadas nas demais épocas diferiram entre si (Tabela 7.2).

A interação lâminas x época foi altamente significativa, 1% de probabilidade pelo teste F, e seus desdobramentos foram realizados pela análise de regressão e ajustaram ao modelo, que pode ser observado na Figura 4.3.

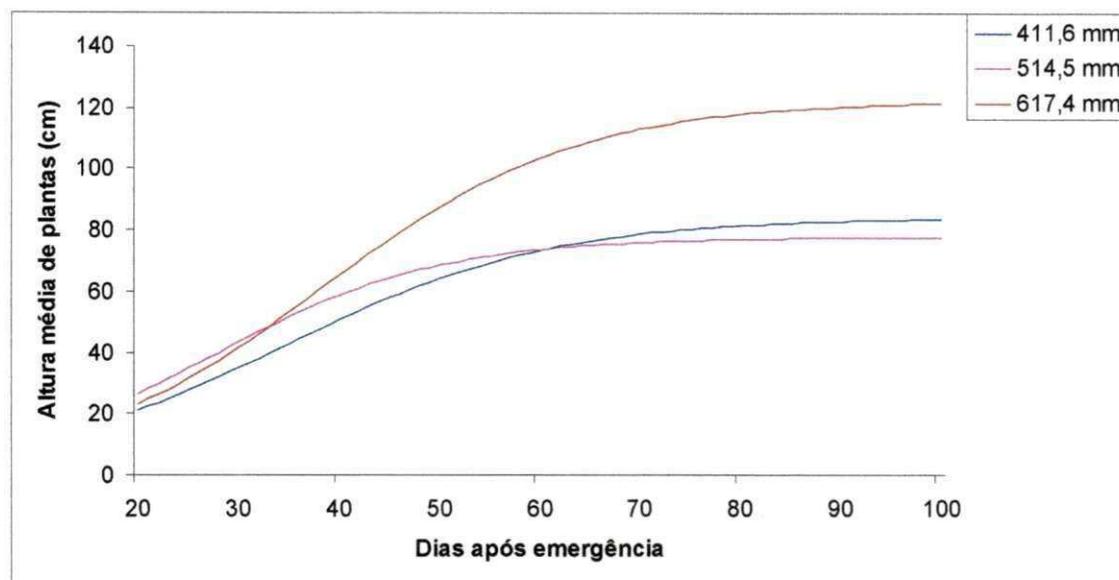


Figura 4.3. Curvas ajustadas de altura média de plantas, no algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Avaliando-se esta variável, verifica-se que o tratamento 3 (617,4 mm) proporcionou a maior altura média de plantas, embora tenha apresentado um crescimento menor que o do tratamento 2 (514,5 mm) até aproximadamente 30 dias; a partir daí superou os tratamentos 2 e 1, apresentando um crescimento bastante acentuado em relação a eles. O tratamento 2, embora tenha apresentado um maior crescimento no início do ciclo, foi superado pelo tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação aproximadamente aos 60 dias, mantendo-se esta tendência até o final.

As equações que ajustam as curvas para a altura média de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, assim como os coeficientes de correlação, são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8. Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação da altura média de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coef. de Determinação ( $r^2$ )
$T_1 = 411,6$	$Y = \frac{83,9467}{1 + EXP^{(2,6017-0,0755X)}}$	0,99
$T_2 = 514,5$	$Y = \frac{77,4376}{1 + EXP^{(2,4334-0,0892X)}}$	0,99
$T_3 = 617,4$	$Y = \frac{122,3}{1 + EXP^{(3,0279-0,0789X)}}$	0,99

Nas três curvas, e de forma mais acentuada na curva que representa o Tratamento 3, observou-se um crescimento lento da cultura no início do desenvolvimento vegetativo, seguido de um crescimento bem mais rápido na fase intermediária e tendendo para uma estabilização do crescimento na fase final. Este comportamento, foi observado por Beltrão et al. (2000), Nóbrega et al. (2001) e Rodrigues (2003) e pode ser justificado pela pequena área foliar do algodoeiro no início do ciclo, seguido de uma maior produção de massa verde, em decorrência de uma maior área foliar, de uma redução na taxa de crescimento, em função do direcionamento dos assimilados para a produção de tecidos reprodutivos, e do início da senescência, quando a planta começa a reduzir a área foliar em função da perda de suas folhas.

Diâmetro Caulinar – Os valores médios de diâmetro caulinar, obtidos a cada 20 dias, para os tratamentos estudados, podem ser observados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Diâmetro caulinar (cm) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Tratamento (mm)	Época de Amostragem (Dias após a emergência)				
	20	40	60	80	100
T <sub>1</sub> = 411,6	0,40	0,81	1,01	1,02	1,09
T <sub>2</sub> = 514,5	0,50	0,89	1,03	1,13	1,10
T <sub>3</sub> = 617,4	0,44	1,00	1,31	1,37	1,34

Avaliando-se os dados da Tabela 4.9, observa-se que, de maneira geral, o diâmetro caulinar aumentou com o incremento da lâmina de irrigação, tendo a análise de variância apresentado diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 7.1). Na comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, com valores médios de 1,09; 0,93 e 0,87 cm para as lâminas de 617,4; 514,5 e 411,6 mm, respectivamente (Tabela 7.2). Estes resultados concordam com os observados por Cordão Sobrinho (2005), para a cultivar BRS 200 – Marrom. Souza et al. (1999), estudando o efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o algodoeiro, cultivar CNPA 7H, observaram efeito significativo para o diâmetro caulinar apenas no tratamento em que a umidade do solo foi mantida em 75% da água disponível. Por outro lado, Viana (2005) não observou diferença estatística para este parâmetro com o aumento da lâmina de irrigação, para a cultivar Deltapine Acala 90.

Analisando-se os resultados de diâmetro caulinar ao longo do crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, observou-se, a partir da comparação de médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, que houve diferença significativa no diâmetro caulinar aos 20, 40 e 60 dias após a emergência, a partir daí, o crescimento estabilizou-se não havendo mais incremento significativo.

A interação lâminas x época para a variável diâmetro caulinar, foi altamente significativa, 1% de probabilidade pelo teste F; os desdobramentos foram realizados pela análise de regressão, tendo-se ajustado o modelo, que pode ser observado na Figura 4.4.

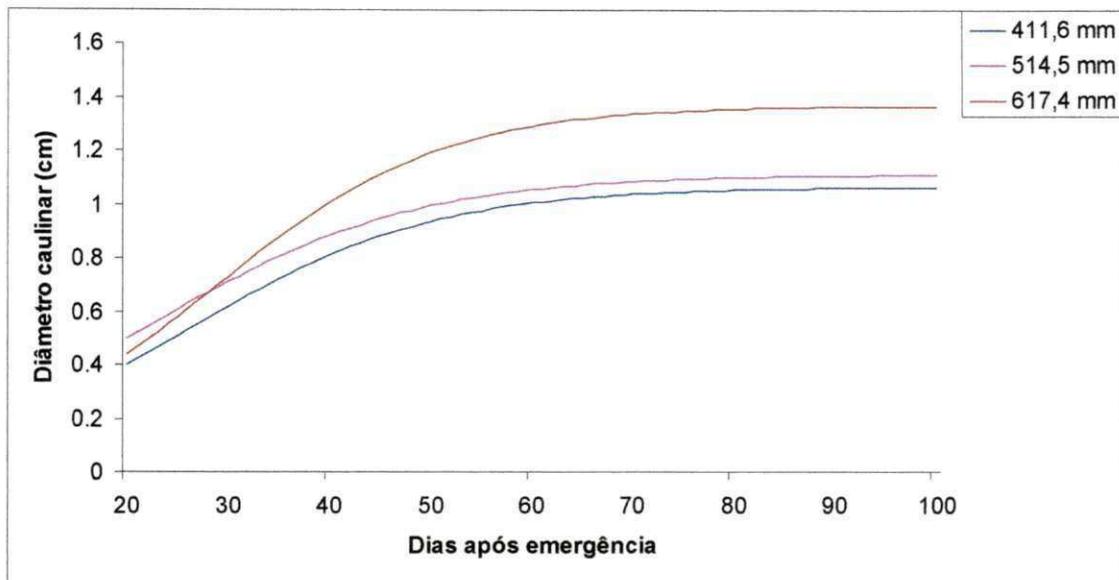


Figura 4.4. Curvas ajustadas do diâmetro caulinar do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Avaliando-se esta figura, observa-se que a aplicação de 617,4 mm de água à cultura proporcionou um diâmetro menor que o obtido para a lâmina de 514,5 mm até aproximadamente 30 dias; a partir desta data, este tratamento superou os tratamentos 2 e 1. O tratamento 2 proporcionou sempre um diâmetro do caule maior em todo ciclo da cultura, quando comparado com o tratamento 1 (411,6 mm), o que demonstra uma resposta positiva da cultura à maior aplicação da água de irrigação.

As equações que ajustam as curvas para o diâmetro caulinar de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, são apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação do diâmetro caulinar de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coef. de Determinação ( $r^2$ )
$T_1 = 411,6$	$Y = \frac{1,0669}{1 + EXP^{(2,1643 - 0,0829X)}}$	0,99
$T_2 = 514,5$	$Y = \frac{1,1143}{1 + EXP^{(1,7612 - 0,0776X)}}$	0,99
$T_3 = 617,4$	$Y = \frac{1,3686}{1 + EXP^{(2,5230 - 0,0887X)}}$	0,99

Observa-se através dos altos valores dos coeficientes de determinação a alta correlação existente entre as lâminas de água aplicada e o diâmetro do caule da cultura.

Área Foliar – Sua determinação é importante porque as folhas são responsáveis pela captação de energia solar e pela produção da matéria orgânica, através da fotossíntese (MAGALHÃES, 1979). Os valores observados da área foliar, obtidos a cada 20 dias, para os tratamentos estudados, podem ser observados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Área foliar ( $cm^2$ ) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Tratamento (mm)	Época de Amostragem (Dias após a emergência)				
	20	40	60	80	100
$T_1 = 411,6$	306,0	1.849,8	4.413,5	4.809,6	3.339,8
$T_2 = 514,5$	388,4	2.946,3	4.583,4	5.410,2	2.806,6
$T_3 = 617,4$	344,3	3.835,8	7.708,3	10.272,8	5.378,9

Observa-se pelos dados da Tabela 4.11 que para todos os tratamentos houve um aumento na área foliar do algodoeiro até os 80 dias, quando foram observados valores de 4.809,6; 5.410,2 e 10.272,8  $cm^2$ , respectivamente, para os tratamentos 1, 2 e 3. A partir deste ponto, observou-se uma redução. Na análise de variância realizada com os resultados obtidos, constatou-se

diferenças significativas entre as diferentes lâminas de irrigação, com significância de 1% de probabilidade (Tabela 7.1). A resposta da área foliar do algodoeiro em função da água aplicada tem sido demonstrada em vários trabalhos. Viana (2005) observou o incremento na área foliar à medida que aumentou a lâmina de irrigação. Souza et al., (1999) observaram aumento na área foliar do algodoeiro, CNPA 7H, em função do aumento do conteúdo de umidade do solo.

Pela comparação das médias, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, verifica-se que a área foliar média do tratamento 3 ( $5.508\text{cm}^2$ ), superou as médias obtidas nos tratamentos 2 e 1, com valores médios de  $3.277,0$  e  $2.043,7\text{ cm}^2$ , respectivamente (Tabela 7.2). Quando se analisaram as diferentes épocas de determinação da área foliar, também se observou diferença significativa pelo teste F, a 1% de probabilidade e diferença em todas as épocas de amostragem, através da comparação de médias, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade (Tabelas 7.1 e 7.2, respectivamente).

A interação lâminas x época para a área foliar foi altamente significativa, 1% de probabilidade pelo Teste F, cujos desdobramentos foram realizados pela análise de regressão, tendo-se ajustado o modelo, cujo resultado pode ser observado na Figura 4.5.

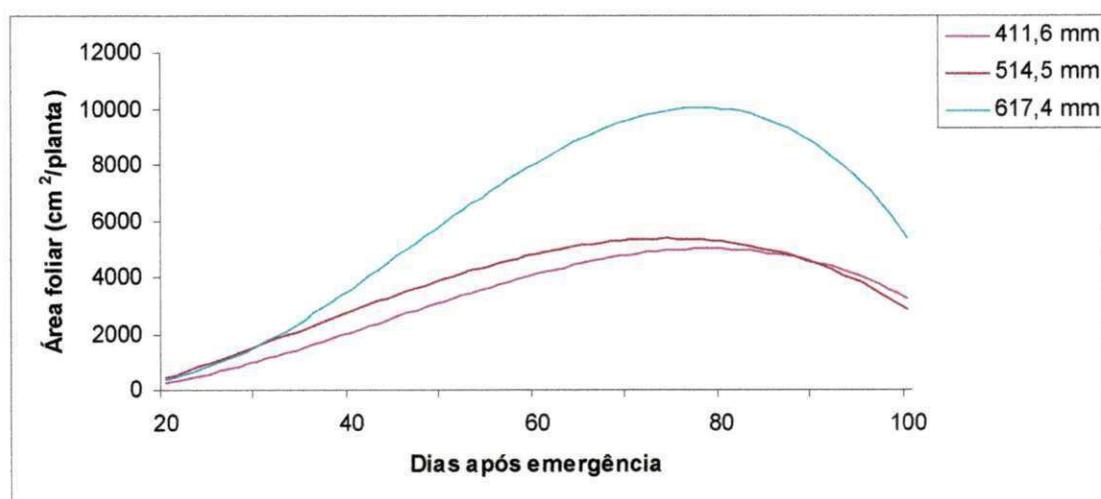


Figura 4.5. Curvas ajustadas da área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Avaliando-se esta Figura, observa-se que a aplicação da maior lâmina de irrigação (617,4 mm) proporcionou a maior área foliar, suplantando em

muito a observada nos outros dois tratamentos. Resposta semelhante foi obtida por Viana (2005), para o algodoeiro, cultivar Deltapine Acala 90. De acordo com Bergamaschi (1999) e Souza et al. (1999), a baixa disponibilidade de água no solo reduz a área foliar do algodoeiro.

Para todos os tratamentos observa-se que a área foliar apresentou crescimento inicial lento até aproximadamente os 30 dias. A partir deste ponto o aumento foi acentuado, principalmente para o tratamento 3, cuja área foliar alcançou valor máximo aos 80 dias (10.272,8 cm<sup>2</sup>), quando começou a diminuir. Este comportamento já foi observado por diversos pesquisadores (MAGALHÃES, 1979; BELTRÃO et al., 2000; RODRIGUES 2003; BEZERRA et al., 2005; FIDELIS FILHO et al., 2005).

As equações que ajustam as curvas para a área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, são apresentadas na Tabela 4.12.

Tabela 4.12. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação da área foliar de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em função do tempo. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coef. de Determinação (r <sup>2</sup> )
T <sub>1</sub> = 411,6	$Y = 178,15 - 63,0239X + 3,9474X^2 - 0,0301X^3$	0,99
T <sub>2</sub> = 514,5	$Y = -1.016,32 + 28,2949X + 2,7174X^2 - 0,0261X^3$	0,99
T <sub>3</sub> = 617,4	$Y = 2.491,92 - 300,9405X + 11,4705X^2 - 0,0817X^3$	0,99

O comportamento diferenciado entre os tratamentos pode ser explicado pela maior disponibilidade de água para o tratamento 3, uma vez que o déficit de umidade para as plantas afeta o crescimento celular e o estresse hídrico mais severo inibe a divisão celular, a síntese de proteínas, o acúmulo de solutos e a inibição da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004), que provoca redução na área foliar da cultura.

Fitomassa da planta – A fitomassa ao longo do ciclo de desenvolvimento do algodoeiro BRS 200 – Marrom pode ser visualizado na tabela abaixo.

Tabela 4.13. Fitomassa da planta (g) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação, em função do tempo. Barbalha, CE, 2005.

Tratamento (mm)	Época de Amostragem (Dias após a emergência)				
	20	40	60	80	100
T <sub>1</sub> = 411,6	2,6975	14,1455	45,6053	73,9520	64,7748
T <sub>2</sub> = 514,5	2,0825	13,1843	51,1583	79,0848	78,8501
T <sub>3</sub> = 617,4	3,1143	12,8588	76,0228	90,1553	86,7018

Observa-se pelos dados da Tabela 4.13 que, para todos os tratamentos, houve um aumento na fitomassa seca total até os 80 dias; a partir daí, observou-se uma redução. Pela análise de variância realizada nos resultados obtidos, observou-se pelo teste F, diferença significativa a 1% de probabilidade, entre as diferentes lâminas de irrigação e entre as diferentes épocas de amostragem (Tabela 7.1). Verifica-se, pela comparação das médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, que a aplicação da lâmina de irrigação de 617,4 mm proporcionou a maior fitomassa seca (53,77 g) quando comparada com os tratamentos que receberam 514,5 e 411,6 mm, com valores de fitomassa total de 44,9 e 40,2 g, respectivamente (Tabela 7.2). Pereira et al. (1997a), trabalhando com as cultivares Precoce 1 e CNPA 7H, observaram maiores produções de fitomassa seca de raiz, caule e folha nos tratamentos submetidos a maior conteúdo de umidade. Avaliando-se as diferentes épocas de determinação da fitomassa seca total, através da comparação das médias, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, observa-se que os maiores valores foram obtidos aos 80 e 100 dias e que não diferiram entre si; a fitomassa aos 60 dias também diferiu da obtida aos 40 e 20 dias que foram semelhantes.

A interação lâminas x época para a variável fitomassa seca total foi significativa a 1% de probabilidade pelo teste F; os desdobramentos foram realizados pela análise de regressão, tendo-se ajustado o modelo, cujo resultado pode ser observado na Figura 4.6.

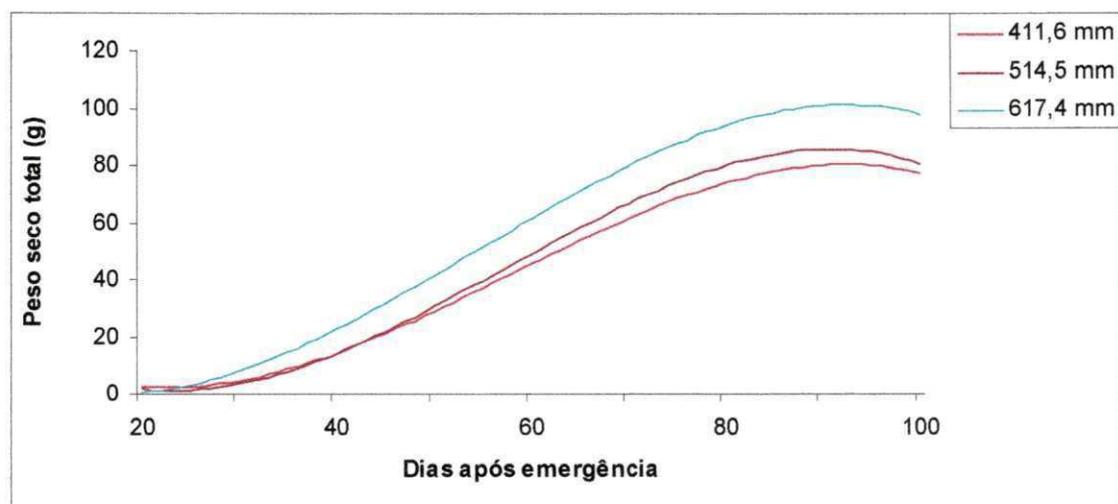


Figura 4.6. Curvas ajustadas da fitomassa total do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação, Barbalha, CE, 2005.

Observa-se que a aplicação da maior lâmina de irrigação (617,4 mm) proporcionou a maior fitomassa seca total, seguida, em ordem decrescente, dos tratamentos 2 e 1. A mesma tendência foi obtida por Rodrigues (2003), para o algodoeiro, cultivar BRS 201. Para todos os tratamentos, observa-se um acúmulo lento de matéria seca até, aproximadamente, os 30 dias, a partir deste dia, o aumento foi mais acentuado para o tratamento 3, no qual a produção de matéria seca alcançou um valor máximo aos 90 dias; a partir desta data, começou a diminuir. Os outros dois tratamentos apresentaram a mesma tendência, embora com menor produção de matéria seca, o que demonstra o efeito da lâmina de água aplicada sobre esta variável.

As equações que ajustam as curvas para a fitomassa seca total do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, são apresentadas na Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação da fitomassa seca total de plantas do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coef. de Determinação ( $r^2$ )
411,6	$Y = 33,2149 - 2,9524X + 0,0806X^2 - 0,000467X^3$	0,99
514,5	$Y = 38,5412 - 3,5020X + 0,0944X^2 - 0,0005513X^3$	0,99
617,4	$Y = 18,4731 - 2,2644X + 0,0783X^2 - 0,0004766X^3$	0,99

#### 4.5 – Respostas econômica do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom

Para obtenção da análise física e econômica da produção, foram coletadas as informações de quantidade e custo dos insumos, custo da mão-de-obra e de serviços de preparo do solo, conforme a metodologia adaptada de Queiroz et al. (1996). Os resultados dos custos obtidos no experimento são apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15. Custo por hectare e variação percentual do custo de produção da cultivar de algodoeiro, BRS 200 – Marrom submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina de Água (mm)	Custos de produção (R\$)			Total (R\$.ha <sup>-1</sup> )
	Preparo do Solo	Insumos	Mão-de-obra	
T <sub>1</sub> = 411,6	240,00	1.166,48	1.432,00	2.838,48
T <sub>2</sub> = 514,5	240,00	1.205,55	1.525,25	2.970,80
T <sub>3</sub> = 617,4	240,00	1.250,24	1.635,25	3.125,49
Variação Percentual				
T <sub>1</sub> = 411,6	8,46	41,10	50,45	100,00
T <sub>2</sub> = 514,5	8,08	40,58	51,34	100,00
T <sub>3</sub> = 617,4	7,68	40,00	52,32	100,00

Observando-se a Tabela 4.15, verifica-se que o custo de produção aumentou linearmente com o aumento da quantidade de água aplicada via irrigação. O custo do preparo de solo foi igual nos três tratamentos, contudo, proporcionalmente, o menor custo do preparo foi do tratamento com a maior lâmina de água aplicada. O custo dos insumos foi crescente em função da lâmina de água e isto ocorreu em virtude da maior aplicação de água ter acarretado um maior tempo de funcionamento da eletrobomba, conseqüentemente, um maior consumo de energia. Verificou-se, contudo, uma variação percentual decrescente, tendo o tratamento que recebeu a maior lâmina de irrigação (617,4 mm), apresentado o menor percentual de custo dos insumos em relação aos outros dois tratamentos. O custo com mão-de-obra teve uma variação incremental do tratamento T<sub>1</sub> (R\$ 1.432,00) até o tratamento T<sub>3</sub>, o qual teve custo máximo (R\$ 1.635,25). Esse valor variável do custo de mão-de-obra foi decorrente do custo da colheita, que foi determinado em função da quantidade colhida para cada tratamento.

Avaliando-se a participação percentual desta rubrica nos três tratamentos, observa-se que, proporcionalmente, o custo da mão-de-obra foi o que apresentou a maior concentração de custos em todos os tratamentos e o incremento ocorreu também em função do aumento da lâmina de irrigação.

Os resultados econômicos dos diferentes sistemas de produção podem ser observados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16. Dados relativos aos custos independentes do tratamento ( $CIT_i$ ), custos dependentes do tratamento ( $CDT_i$ ), custo total ( $CT_i$ ), produção obtida ( $PD_i$ ), renda bruta ( $RB_i$ ) e renda líquida ( $RL_i$ ), relação benefício/custo (RBC), e taxa marginal de retorno (TMR) do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Variáveis	Lâmina de Água Aplicada (mm)		
	411,6	514,5	617,4
$CIT_i$ – Custos independente do tratamento ( $R\$.ha^{-1}$ )	2.019,80	2.019,80	2.019,80
$CDT_i$ – Custos dependente do tratamento ( $R\$.ha^{-1}$ )	810,01	951,01	1.115,53
$CT_i$ – Custos totais ( $R\$.ha^{-1}$ )	2.829,81	2.970,81	3.135,33
$PD_i$ – Produção ( $kg.ha^{-1}$ )	2.476	2.849	3.289
$RB_i$ – Renda Bruta ( $R\$.ha^{-1}$ )	3.218,80	3.703,70	4.275,70
$RL_i$ – Renda Líquida ( $R\$.ha^{-1}$ )	386,99	732,89	1.140,37
Relação Benefício/Custo (RBC)	1,59	1,83	2,12
Taxa Marginal de Retorno (TMR)		2,44	2,48

Para a obtenção dos dados da Tabela 4.16, foram utilizados preços de abril/2007. Como pode ser visualizado nesta tabela, para todas as variáveis estudadas, obteve-se um incremento na resposta econômica a medida que aplicou uma maior lâmina de irrigação. O custo de produção variou de R\$ 2.829,81 por hectare, para a aplicação da lâmina de 411,6 mm a R\$ 3.135,33 por hectare para a aplicação da lâmina de 617,4 mm.

Seguindo a mesma tendência, a produção foi maior à medida que se aumentou a lâmina de irrigação, com uma produtividade de 3.289  $kg.ha^{-1}$ , para o tratamento com a maior lâmina de irrigação. Com o preço do algodão em rama estabelecido em R\$ 1,30 o quilo, obteve-se uma renda bruta de R\$

3.218,80; R\$ 3.703,70 e R\$ 4.275,70 para os tratamentos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>, respectivamente.

Observando-se os resultados obtidos para todas as variáveis estudadas, com exceção do custo independente do tratamento que foi idêntico para todos os tratamentos, obteve-se um incremento linear em função da lâmina de água aplicada, o que demonstra que os sistemas de produção apresentaram uma resposta econômica satisfatória. Observou-se, também, que os maiores valores obtidos para receita bruta e líquida, pelo tratamento que recebeu a maior lâmina de irrigação (T<sub>3</sub>), deixa claro que a cultura do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom responde satisfatoriamente à aplicação de lâminas de água, podendo apresentar rendimentos superiores, quando se aplicarem lâminas de água superiores a 617,4 mm, uma vez que neste estudo não se observou a modificação na tendência da curva de aplicação de lâminas de água, que de acordo com diversos autores tem efeito quadrático (QUEIROZ et al., 1996; VIANA, 2005). Para Almeida et al. (2004), quando não se consegue obter o comportamento quadrático de aumento e decréscimo da produtividade com o crescente incremento de lâminas de água, é porque a máxima aplicação de água não foi suficiente para fornecer condições potenciais de produção e, conseqüentemente, não se consegue estabelecer condições econômicas ótimas.

Visando estabelecer a eficiência econômica dos tratamentos testados, utilizou-se a relação benefício/custo, e a taxa marginal de retorno. Vários autores (BARBOSA FILHO & SILVA, 1994 e ALENCAR et al., 2004) têm utilizado a relação benefício/custo para demonstrar a eficiência econômica em trabalhos de pesquisa agrícola. Para a relação benefício/custo, que se traduz pela razão entre os benefícios auferidos pelos tratamentos testados em função dos custos totais observados em cada sistema de produção estudado (Tabela 4.16) obtiveram-se como resultados 1,59; 1,83 e 2,12, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Pode-se observar, portanto, que, do ponto de vista econômico, o incremento na lâmina de água aplicada acarretou uma maior resposta econômica do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom. Observa-se, ainda que, para cada real aplicado, houve um lucro líquido de R\$ 0,59 para a lâmina de 411,6 mm; R\$ 0,83 para a lâmina de 514,5 mm e R\$

1,12 para a lâmina de 617,4 mm, o que evidencia um melhor retorno econômico para o tratamento em que se utilizou a maior lâmina de irrigação.

De modo análogo à relação benefício/custo, a taxa marginal de retorno que consiste na relação entre a diferença de renda líquida auferida entre dois tratamentos pela diferença observada entre os custos dependentes dos dois tratamentos, tem sido utilizada para avaliar a resposta econômica de culturas (OLIVEIRA & CAMPOS, 1997; CIMMYT, 2007). A taxa marginal de retorno, obtida neste trabalho foi de 2,44 entre o tratamento 2, que recebeu uma lâmina de irrigação de 514,5 mm, em relação ao tratamento 1, que recebeu uma lâmina de 411,6 mm (Tabela 4.16), indicando que, para cada real investido no custo de água mais custo de colheita, houve uma resposta positiva de R\$ 1,44, mostrando que há vantagem econômica em aplicar a lâmina do tratamento 2, quando comparada com o tratamento 1. Quando se comparou a taxa marginal de retorno do tratamento 3 (614,4 mm) em relação ao tratamento 2 (514,5 mm), obteve-se um valor de 2,48, do que se pode inferir que, para cada real investido no custo de água mais o custo de colheita, houve um retorno econômico de R\$ 1,48, caracterizando, assim, a maior eficiência econômica deste tratamento. Oliveira & Campos (1997), trabalhando com diferentes manejos de irrigação no algodoeiro herbáceo, obtiveram taxas marginais de retorno que variaram de 0,98 a 2,05.

## 5. CONCLUSÕES

- 1) O incremento na lâmina de irrigação proporcionou aumento no rendimento do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em seu primeiro ano de cultivo, que atingiu valor máximo,  $3.289,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , com a lâmina de irrigação de 617,4 mm;
- 2) O aumento da lâmina de irrigação não afetou as características tecnológicas (comprimento, uniformidade, índice de fibras curtas, resistência, alongamento à ruptura, índice micronaire, maturidade, reflectância, grau de amarelo) da fibra do algodoeiro BRS 200 – Marrom;
- 3) O aumento da lâmina de irrigação induziu a cultura a uma menor eficiência de uso de água;
- 4) Houve resposta econômica da cultura à aplicação das lâminas de água, sendo 617,4 mm a mais eficiente, com uma receita líquida de R\$ 1.140,37 por hectare e uma taxa marginal de retorno de R\$ 1,48 por cada real investido;
- 5) A aplicação da maior lâmina de irrigação (617,4 mm) favoreceu o crescimento da planta, expresso pela altura, diâmetro caulinar, área foliar e a fitomassa seca do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, em seu primeiro ano de cultivo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, K.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guielins for computing grop water requirements)**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56)

ALENCAR, J. R. de; HERRUZO, C.; HEOEFLICH, V. A.; OLIVEIRA, E. B. de. Impactos econômicos da pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para manejo florestal de *Pinnus spp.* **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 425-446, 2004.

ALMEIDA, F. T. de; BERNARDO, S.; SOUSA, E. F. de; MARIN, S. L. D.; GRIPPA, S. Análise econômica baseada em funções de resposta da produtividade versus lâminas de água para o mamoeiro no Norte Fluminense. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 675 – 683, 2004.

ALVES, J. C. M.; PEREIRA, J. R.; BEZERRA, J. R. C.; LIMA, S. V. de; SOUZA, R. N. de; MASCENA, A. M.; PINHO FILHO, F. de A, L. de; ALENCAR, S. de B. Partição de assimilados em algodoeiro semiperene BRS Marrom sob diferentes lâminas de irrigação e doses de regulador de crescimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROM.

ALVES, J. M. A.; SEDIYAMA, T.; SAMPAIO, N. F. Influência da área foliar na abertura dos capulhos de genótipos de algodão, *Gossypium hirsutum L. r. latifolium* Hutch. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1., 1997, Fortaleza. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997. p. 58-60.

ALVES, W. W. A; AZEVEDO, C. A. V. ; SOUSA, J. S. C. de; BATISTA, R. C.; SOUZA, R. M. de; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M. Efeito da água residuária tratada, nitrogênio e fósforo na qualidade da fibra do algodão: Parte I In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** Campina Grande: UFCG/SBEA, 2006. CD-ROM.

ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V. ; SOUSA, J. S. C. de; BATISTA, R. C.; SOUZA, R. M. de; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M. Efeito da água residuária tratada, nitrogênio e fósforo na qualidade da fibra do algodão: Parte II In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** Campina Grande: UFCG/SBEA, 2006a. CD-ROM.

AMORIM NETO, M. da S. **Termometria a infravermelho associada ao balanço de energia na determinação do índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado.** 1995. 89f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

AMORIM NETO, M. da S.; GOMIDE, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; BRITO, R. A. L.; MAGALHÃES, P. C.; BORGES JÚNIOR, J. C. F. Índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 49-53, 1996.

ANGUS, D. E.; WATTS, P. J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology.** North Carolina: Academic Press, 1988. 307p.

AUJLA, M. S.; THIND, H. S.; BUTTAR, G. S. Cotton yield and water use efficiency at various levels of water and N through drip irrigation wunde two methods of planting. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 71, p. 167-179, 2005.

AZEVEDO, D. M P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. da Manejo cultural. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.509-551.

AZEVEDO, H.M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba.** 2002. 110f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

AZEVEDO, P.V. de; RAO, T.V.R.; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J.R.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G.F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v, 58, p. 241-254, 2003.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Aspectos agro-econômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 11, p. 1657-1667, 1994.

BELL, M. J.; WRIGHT, G.C.; HAMMER, G.L.; Night temperature affects radiation use efficiency in peanut. **Crop Science**, Madison, v.32, p. 1329-1335, 1992.

BELTRÃO, N. E. de M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.15-27.

BELTRÃO, N. E. de M. Fisiologia da fibra do algodoeiro herbáceo. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999a. p. 881-896.

BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, J. R. C.; BARRETO, A. N.; LIMA, E. F.; OLIVEIRA, F. de A.; RAMALHO, F. de S.; et al. **Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro e irrigado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. 72p. (EMBRAPA - CNPA. Circular Técnica, 17)

BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J.; SOUZA, J. G. de. Produtividade, qualidade de fibra e análise de crescimento com estimativa da respiração, do algodão perene 7MH, nas condições ecofisiológicas do Seridó paraibano, comparado à CNPA 5M. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 1, p. 13-21, 2000.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, 1995. 656p.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. IN: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. cap.2. p. 25-32.

BEZERRA, J. R. C.; AMORIM NETO, M. da S.; LUZ, M. J. da S. e; BARRETO, A. N.; SILVA, L. C. Irrigação do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.617-682.

BEZERRA, J. R. C.; BARRETO, A. N.; SILVA, B. B. da; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; RAMANA-RAO, T. V.; LUZ, M. J. da S. e; MEDEIROS, J. D. de; SOUZA, C. B. de; SILVA, M. B. da. **Consumo hídrico do algodoeiro herbáceo**. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. (Campina Grande), **Relatório Técnico Anual, 1992 – 1993**. Campina Grande, 1994. p. 151 – 154.

BEZERRA, J. R. C.; DIAS, J. M.; CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. PEREIRA, J. R. Análise de crescimento do algodoeiro BRS 200 – Marrom irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE IRRIGAÇÃO, DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES, 1., 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...**, Porto Alegre: ABID, 2004. CD-ROM.

BEZERRA, J. R. C.; CORDÃO SOBRINHO, F. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. PEREIRA, J. R.; DIAS, J. M. Lâmina de irrigação x regulador de crescimento no algodoeiro BRS 200 – Marrom. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE IRRIGAÇÃO, DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES, 1., 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...**, Porto Alegre: ABID, 2004a. CD-ROM.

BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M. J. da S. e; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F. de; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W. dos; SANTOS, T. da S. Rendimento e qualidade de fibra do algodoeiro herbáceo em diferentes épocas de interrupção da irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 7, n. 2/3, p. 719-726, 2003.

BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M. J. da S. e; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F. de; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W. dos; SANTOS, T. da S. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o rendimento e a fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 7, n. 2/3, p. 727-734, 2003a.

BEZERRA, L. J. D.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE, A. R. S. de; ALVES, V. W.; AZEVEDO, C. A. V. de; GUERRA, H. O. C. Análise de crescimento do algodão colorido sob os efeitos da aplicação de água residuária e biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, Suplemento, p. 333-338, 2005.

BIDLAKE, W. R.; WOODHAM, W. M.; LOPEZ, M. A. **Evapotranspiration from areas of native vegetation in West-Central Florida**. Washington:[s. n.], 1996. 35p. (US Geological Survey, Water-Supply Paper, 2430).

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84p.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p. 1-7, 1989.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p. 9-18, 1989a.

CARDOSO, G. B.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SOUSA, V. F. de; SOUSA, F. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 16-23, 2005.

CARVALHO, W. P. **Efeito da densidade de plantio em cultivares de feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L) Walp) sob condições de irrigação**. 1995. 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. .

CASA, R.; RUSSEL, G.; CASCIO, B. L. Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 289-301, 2000.

CETIN, O. & BILGEL, L. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 1-15, 2002.

CIMMYT. A formulação de recomendações a partir de dados agronômicos: Um manual metodológico de avaliação econômica CIMMYT – Programa de Economia. Disponível em: <http://www.cimmyt.org/research/economics/manualport/Manual/manualportpart3.htm> Acesso em: Agosto 2007.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2005/2006:** nono levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/safras/9oLevantamento>. Acesso em: Agosto 2006

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; BELTRÃO, N. E. de.; FERNANDES, P. D.; SOARES, F. A. L.; TERCEIRO NETO, C. P. C. Análise de crescimento do algodoeiro colorido BRS 200 Marrom em função de diferentes lâminas de água e regulador de crescimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...**, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROM.

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. Balanço de energia em cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentável, 1999. 34p.

DAGDELEN, N.; YILMAZ, E.; SEZGIN, F.; GURBUZ, T. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, p. 63-85, 2006.

DANTAS NETO, J. **Modelos de decisão para otimização do padrão de cultivo, em áreas irrigadas, baseadas nas funções de resposta das culturas à água**. 1994. 125f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Campus de Botucatu –  
Butucatu – SP.

DIAS, J. M.; BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, J. A. T. dos; SILVA, J. C. A. da; SANTOS, T. da S.; Interatividade entre os fatores doses de nitrogênio e doses de regulador de crescimento em algodão herbáceo colorido sob estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...**, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. CD-ROM.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 2000. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 194p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, 24)

FACUAL – Fundo de Apoio à Cultura do Algodão no Estado de Mato Grosso. **Notícias**: Bahia implanta programa de combate ao bicudo. 2005. Disponível em <http://www.facual.org.br/modules/news/article.php?storyid=70> Acesso em: 08 de agosto de 2005.

FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D; GARCIA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M.G.G. Equações para estimativa do índice de área foliar para o cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERRREIRA, I. L.; FREIRE, E. C. Industrialização. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.897-931.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 421p.

FIDELIS FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T. de; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, Suplemento, p. 328-333, 2005.

FONSECA, G. R. da; SANTANA, J. C. F. de **Resultados de ensaio HVI e suas interpretações (ASTM D-4605)** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 13p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 66)

FREIRE, E.C.; ANDRADE, F. P. de; SANTANA, J. C. F. De; BELTRÃO, N. E. de M.; PEDROSA, M. B.; WANDERLEY, M. J. R.; ASSUNÇÃO, J. H. de BRS 200 Marrom; Cultivar de algodão de fibra colorida para uso por agricultores familiares do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Cuiabá. **Anais...**, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. p.765-767.

FRIZZONE, J. A. **Função de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1993. 42p. (Série Didática, 6).

FRIZZONE, J. A. Função de Produção. In: FARIAS, M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Eds.) **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFL/SBEA, 1998. p. 86-116.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. Cap. 7, p. 283 - 314.

GRANGEIRO, R. de S. B. **Balanco de energia, evapotranspiração e variáveis de crescimento do algodoeiro semiperene, cultivar BRS 200 Marrom**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L.; NEALE, C. M. U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, n. 3-4, p. 261-273, 1989.

HEILMAN, J.L.; MCLNNES, K. J.; SAVAGE, M. J.; GESCH, R. W.; LASCANO, R. J. Soil and canopy energy balance in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n. 1-2, p. 99-114, 1994 .

HOFFMANN, R. **Análise de regressão – uma introdução à economia**. 3. ed. São Paulo: HUCITEC, 1998. 379p.

HSIAO, T. C.; BRADFORD, K. J. Physiological consequences of cellular water deficits. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R.; SINCLAIR, T. R. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of América/Soil Science Society of America. 1983. p. 227-265.

HUNSAKER, D. J.; CLEMMENS, A. J.; FANGMEIER, D. D. Cotton response to high frequency surface irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 37, p. 55-74, 1998.

GRISMER, M. E. Regional cotton lint yield, Etc and water value in Arizona e California. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 227-242, 2002.

IBGE. **Banco de dados agregados: sistema IBGE de recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em :  
<http://sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protab1.asp?z=t&o=10&i=P>. Acesso em: 30/06/2006. .

IRVINE, M. R.; GARDINER, B. A.; MORSE, A. P. Energy partitioning influenced by tree spacing. **Agroflorestry Systems**, Amsterdam, v. 39, p. 211-224, 1998.

JALOTA, S. K.; SOOD, A.; CHAHAL, G.B.S.; CHOUDHURY, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) – wheat (*Triticum, aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 137–146, 2006.

JUAN-VALERO, J. A. de; OLALLA-MAÑAS, J. M. de S. Lãs funciones de produccion versus água. In: OLALLA-MAÑAS, J. M. de S.; JUAN-VALERO, J. A. de; **Agronomia del riego**. Madrid: Mundi-Prensa/Universidad de Casstilla-La Macha, 1993. p.447-519.

KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. São Paulo: Ícone, 1994. 178p.

LAMAUD, E.; BRUNET, Y.; BERBIGIER, P. Radiation and water use efficiency of two coniferous forest canopies. **Physics and Chemistry of the Earth**, Great Britain. v. 21, n. 5-6, p. 361-365, 1996.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

LUZ, M. J. da S. e; BEZERRA, J. R. C.; SANTANA, J. C. F. de; DIAS, J. M.; Efeito da deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade de fibra do algodoeiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 125-133, 1997.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, R. A.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; SILVA, W. J. da; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, n.6, p. 825-833, 1982.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal** 1. São Paulo: EPU/Ed. Universidade de São Paulo, 1979. p. 331-350.

MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L.; PAWEL, J. W.; VARGAS, M. A. Effect of row width and nitrogen on cotton morphology and canopy microclimate. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 870-877, 2004.

MOURA, M. S. B. **Consumo hídrico, produtividade e qualidade de fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco**. 2005. 122f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

MARTINEZ-ÁUSTRIA, P. **Uso eficiente del agua em riego**. Disponível em: [http://www.unesco.org.uylphi/libros/uso\\_eficiente/cap4.html](http://www.unesco.org.uylphi/libros/uso_eficiente/cap4.html) Acesso em 23/06/2003.

NÁPOLES, F. A. de M.; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, L. C.; LUZ, M. J. da S. e; DANTAS NETO, J. Efeito da época da supressão da irrigação sobre parâmetros mofo-fisiológicos do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., 1999, Ribeirão Preto, SP. **Anais...**, Campina Grande: Embrapa Algodão, 1999. p.418-420.

NÁPOLES, F. A. de M.; AMORIM NETO, M. da S.; SILVA, L. C.; DANTAS NETO, J. Supressão da irrigação no algodoeiro: impactos sobre o rendimento e tecnologia de fibra **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 55-60, 1999a.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.

NOBREGA, J. Q.; FIDELIS FILHO, J.; BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, B. G. Análise de Crescimento do algodoeiro irrigado com água de esgoto tratada e de abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 3.,

2001, Campo Grande, MS. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Algodão, 2001. CD-ROM.

NUNES FILHO, J.; SÁ, V. A. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, I. S. de; COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F. dos. Efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e qualidade de fibra de cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 295–299, 1998.

OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 21, p. 595-598, 1982.

OLIVEIRA, F. A. de; CAMPOS, T. G. da S. Manejo da irrigação na cultura do algodoeiro herbáceo em condições semi-áridas do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 5, p. 521-535, 1997.

OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. **Uso consuntivo e desenvolvimento radicular do algodoeiro herbáceo**. Salvador: EPABA, 1987. 22p. (EPABA. Boletim de Pesquisa, 08)

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183p.

PEREIRA, M. do N.B.; AZEVEDO, N.C.; FERNANDES, P.D.; AMORIM NETO, M. da S.; Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo em baixos níveis de umidade no solo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 1-7, 1997a.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.

PESSOA, R.; SOUZA, F. E.; SOUZA JUNIOR F. E.; ALBUQUERQUE, T. C. S. **A volta do algodão “uma questão de justiça”**. Brasília: Instituto Tancredo Neves, 1997. 78p.

PIERI, P.; FUCHS, M. Comparison of Bowen ratio and aerodynamic estimates of evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 243-256, 1990.

PRUEGER, J.H.; HATFIELD, J. L. AASE, J. K. PIKUL JR., J.L. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 730-736, 1997.

QUEIROZ, J. E. de; CALHEIROS, C. B. M.; PESSOA, P. C. S.; FRIZZONE, J. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n.1, p.55 – 61, 1996.

RADIN, J. W.; REAVES, L. L.; MAUNEY, J. R.; FRENCH, O. F. Yield enhancement in cotton by frequent irrigations during fruiting. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84 p. 551-557, 1992.

RAJAK, D.; MANJUNATHA, M. V.; RAJKUMAR, G.R.; HEBBARA, M.; MINHAS, P. S. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the yield and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in a saline and waterlogged vertisol. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, p. 30-36, 2006.

RANA, G.; KATERJI, N.; Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 13, p. 125-152, 2000

RODRIGUES, M. F.G. **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.** 2003. 132f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L. VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment.** New York: John Wiley, 1983. 495p.

SANTANA, J. C. F. de **Características tecnológicas da fibra de duas cultivares de algodão armazenada em dois municípios paraibanos.** 2002. 48f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

SANTANA, J. C. F. de; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. Características da fibra e do fio do algodão: análise e interpretação dos resultados. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.) **O agronegócio do algodão no Brasil.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 857 – 880.

SANTOS, J. W. dos; ALMEIDA, F. de A. C.; BELTRÃO, N. E. de M. Análise da variância com estudo da regressão pelos polinômios ortogonais. In: SANTOS, J. W. dos; GHEYI, H. R. (Eds.) **Estatística experimental aplicada.** Campina Grande: UFPB, 2003. 213p.

SAS/STAT, **User guide.** SAS Institute. SAS onlinedoc®, versão 9.1.3, Cary, 2004. CD ROM.

SILBERSTEIN, R.P.; SIVAPALAN, M.; VINEY, N.R.; HELD, A.; JATTON, T.J. Modelling the energy balance of a natural jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, p. 201-230, 2003.

SILVA, A. F. da; SILVA, F. P. da; PITOMBEIRA, J. B.; BARROS, L. de M.; BEZERRA, A. P. L. Interceptação de luz, matéria seca e área foliar de

linhagens de algodoeiro herbáceo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 67-73, 2005.

SILVA, A. L. da **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil**. 2005. 72f. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

SILVA, B. B. da; BELTRÃO, N.E. de M.; RODRIGUES, M.F.G.; BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA, J.R. Evapotranspiração do algodoeiro herbáceo no Cariri cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão/Fundação GO, 2003. CD-Rom (Embrapa Algodão. Documentos, 118).

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; AMORIM NETO, M. da S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000a. 46p. (Embrapa Algodão, Circular Técnica 34)

SILVA, L.C.; FIDELIS FILHO, J.; BELTRÃO, N.E. de M.; RAMANA RAO, T. V.; SANTOS, J.W.; Análise de crescimento de amendoim submetido a diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA , 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p. 145-146.

SILVA, L. D. B.da; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.3, 2005a, p. 705 – 712.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v.1, n.1, 2006. 18-23.

SOARES, J. M. **Consumo hídrico da videira Festival sob intermitência de irrigação no sub-médio São Francisco**. 2003. 309f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

SOUSA, I. F. de. **Manejo de irrigação, consumo hídrico e produtividade do coqueiro anão verde nos Tabuleiros Costeiros norte do Estado de Sergipe**. 2005. 143f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

SOUZA, C. B. de. **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita – PB**. 2003. 124f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

SOUZA, C. C. de; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. de f. da; ANDRADE, A. P. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada na cultura do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n. 2, p. 125-130, 1999.

STILLER, W. N.; READ, J. J.; CONSTABLE, G. A.; REID, P. E. Selection for water use efficiency traits in a cotton breeding program: cultivar differences. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1107-1113, 2005.

TAIZ, L; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse. IN: TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artimed, 2004. Cap. 25, p. 608 – 643.

TAYLOR, H. M.; WILLATT, S.T. Shrinkage of soybean roots. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 818-820. 1983.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B. da; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. da. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da bananeira obtidos pelo método da razão de Bowen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 12. REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA. 3, 2001, Fortaleza **Anais...**

Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/FUNCEME, v. 2, 2001. p. 365-370.

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

TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfafa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. 374p.

UNLAND, H. E.; HOUSER, P. R.; SHUTTLEWORTH, W. J.; YZNG, Z. L. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonoran Desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 119-153, 1996

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, Pax, 2001. p. 445 - 508

VAUX, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water productions functions. In: HILLEL, D. (Ed.) **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1983. v.2, p. 61-97.

VERMA, S. B.; ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible eat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.

VIANA, S. B. A. **Otimização do uso de água e nitrogênio no cultivo do algodoeiro herbáceo na região Oeste da Bahia**. 2005. 143f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

VIANA, T. V. de A.; FOLEGATTI, M.V.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. do; ELOI, W.M.; Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e com um lisímetro de pesagem em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 113-119, 2003.

WANG, J.; BRAS, R. L. Effect of temperature on surface energy balance. **Water Resources Research**, Washington, v. 37, n.12, p. 3383-3386, 2001.

WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R. Water status response of cotton to altered irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 21, p. 45-55, 2002.

WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R.; MAHAN, J. R.; BURKE, J. J. Cotton yield applied water relationships under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 55, p. 217-237, 2002.

WRIGHT, G.C.; NAGASWARA RAO, R.C.; FARQUHAR, G.D.; Peanut cultivar variation in water-use efficiency and carbon isotope discrimination under drought conditions in the field. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 92-97, 1994.

YAZAR, A.; SEZEN, S. M.; SESVEREN, S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 189-203, 2002.

## 7. ANEXOS

Tabela 7.1. Resumo da análise da variância dos dados primários de crescimento do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação em diferentes etapas de seu desenvolvimento. Barbalha, CE, 2005.

Fonte de Variação	G. L.	Quadrados Médios			
		Altura média de plantas	Diâmetro caulinar	Área Foliar	Fitomassa da planta
Tratamento (T)	2	3.843,1**	0,269**	39.528.907,1**	946,32**
Bloco	3	134,3**	0,040**	958.218,9 <sup>ns</sup>	68,26 <sup>ns</sup>
Erro (a)	6	219,7	0,021	3.284.686,7	28,53
Época (E)	4	10.562,0**	1,156**	75.154.840,6**	15.763,46**
T x E	8	485,2**	0,023**	5.368.996,3**	218,52 <sup>ns</sup>
Erro (b)	36	21,7	0,005	618.938,9	112,29
CV (a)		21,10	15,19	59,52	11,54
CV (b)		6,63	7,49	20,21	22,89

\* Significativo ( $F < 0,1$ );

<sup>ns</sup> Não significativo ( $F > 0,1$ )

Tabela 7.2. Resultados médios da área foliar (cm<sup>2</sup>), altura média de plantas (cm), diâmetro caulinar (cm) e massa da matéria seca da planta do algodoeiro, cultivar BRS 200 – Marrom, submetido a diferentes lâminas de irrigação em diferentes etapas de seu desenvolvimento. Barbalha, CE, 2005.

	Altura de plantas	Diâmetro caulinar	Área Foliar	Fitomassa seca da planta
	Lâmina de Irrigação (mm)			
411,6	62,0b	0,87c	2.943,7b	40,23b
514,5	62,5b	0,93b	3.227,0b	44,87b
617,4	86,3a	1,09a	5.508,0a	53,77a
	Época de amostragem (Dias após a emergência)			
20	24,0e	0,45c	346,2e	2,63d
40	57,5d	0,90b	2.877,3d	13,40c
60	84,5c	1,12a	5.568,4b	57,60b
80	90,3b	1,18a	6.830,9a	81,06a
100	95,0a	1,18a	3.841,8c	76,78a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.