

TESE DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ÁGUA- SOLO-PLANTA

ATMOSFERA

TÍTULO: *NECESSIDADES HÍDRICAS, CRESCIMENTO*
E DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO
HERBÁCEO, CULTIVAR BRS 201

AUTOR: MARCOS FERNANDO GUEDES RODRIGUES

MARCOS FERNANDO GUEDES RODRIGUES

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES
HÍDRICAS DO ALGODOEIRO HERBÁCEO IRRIGADO, CULTIVAR BRS 201**

ORIENTADORES

Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA

Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

Agosto – 2003

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**NECESSIDADES HÍDRICAS, CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO
ALGODOEIRO HERBÁCEO IRRIGADO, CULTIVAR BRS 201**

MARCOS FERNANDO GUEDES RODRIGUES

**Tese apresentada ao Curso 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: Água-Solo-Planta-Atmosfera

Linha de Pesquisa: Necessidades Hídricas de Culturas

Orientadores: Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

Agosto/2003

Ficha Catalográfica

Rodrigues, Marcos Fernando Guedes

R696n Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo irrigado, cultivar BRS 201 / Marcos Fernando Guedes Rodrigues. - Campina Grande : UFCG, 2003.

132p. : il

Tese (Doutorado). UFCG/CCT
Inclui bibliografia

1. Necessidades hídricas do algodoeiro 2. Coeficiente de cultivo 3. Análise de crescimento e desenvolvimento de plantas 4. Balanço de energia 5. Algodão – Cultivo. I - Título

CDU 633.51; 551.5

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

MARCOS FERNANDO GUEDES RODRIGUES

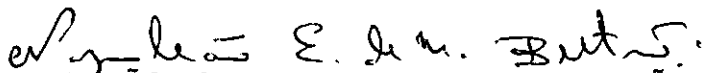
**NECESSIDADES HÍDRICAS, CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO
DO ALGODOEIRO HERBÁCEO IRRIGADO, CULTIVAR BRS 201**

APROVADA EM: 29/08/2003

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACEDO BELTRÃO
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – Embrapa Algodão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



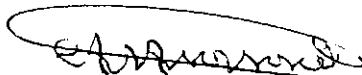
Prof. Dr. JOSÉ LEONALDO DE SOUZA
Departamento de Meteorologia - DM
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Prof. Dr. ROMISIO GERALDO BOUHID ANDRÉ
Laboratório de Engenharia e Extração de Petróleo - LENEP
Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF



Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Prof. Dr. CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO
Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo.:

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), especificamente, ao Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia, Professor Dr. Benedito Guimarães Aguiar Neto, por ter concedido a valiosa oportunidade de realização desse Curso de Doutorado em Recursos Naturais.

Ao Governo do Estado da Paraíba, na pessoa do Prof. Dr. Neroaldo Pontes de Azevedo, Secretário Estadual de Educação, em ter renovado o meu afastamento para concluir este Programa Institucional de Doutorado Temático.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Algodão) pelo apoio na pesquisa e execução desse trabalho e, em particular, aos pesquisadores Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto (*In memoriam*) e Msc. José Renato Cortez Bezerra, pelas valiosas contribuições prestadas, bem como, todos aqueles funcionários que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo financiamento parcial desta pesquisa, através do Projeto “Balanço de energia e evapotranspiração do algodoeiro herbáceo CNPA 8H no semi-árido do Nordeste”, referente ao Processo nº 461.294 / 00-1.

Ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – CE), particularmente, ao aluno do curso de Recursos Hídricos e Irrigação, Francisco Leandro da Costa, ao Professor

Silas Barros de Alencar e todos aqueles funcionários e professores que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste curso.

Ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva e Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão pela valiosa orientação em todas as etapas de execução desta tese de Doutorado em Recursos Naturais.

Ao Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, Coordenador do Programa Institucional de Doutorado Temático, pela cessão equipamentos usados na campanha experimental e apoio institucional.

Ao Prof. Dr. Cleber Brito de Souza pelo apoio e sugestões durante a execução deste trabalho.

Aos meus pais

Manoel Rodrigues de Amorim (*In Memoriam*)

e Doralice Guedes Rodrigues

DEDICO

À minha esposa Marines Martins Alves

Aos meus filhos, Mikalinês e Ricardo Rodrigues

OFEREÇO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	
LISTA DE ANEXOS	
RESUMO	
ABSTRACT	

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO	20
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 - Estresse hídrico	24
2.1.1 - Déficit hídrico	24
2.1.2 - Excesso hídrico	26
2.2 - Necessidades hídricas	28
2.3 - Lisímetro de drenagem	29
2.4 - Tanque Classe A	30
2.5 - FAO - Penman-Monteith	31
2.6 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen	32
2.7 - Análise de crescimento	37
2.7.1 - Análise de crescimento destrutiva	40
2.8 - Características intrínsecas da fibra do algodão	40
3 - MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 - Material	43
3.1.1 - Localização aproximada da área experimental	43
3.1.2 - Clima	44
3.1.3 - Solo da área experimental	45
3.1.3.1 - Preparo do solo e sulcamento	45
3.1.3.2 - Adubação	46
3.1.4 - Cultura	46
3.1.4.1 - Semeadura	47
3.1.4.2 - Emergência	47
3.1.4.3 - Plantas daninhas	48
3.1.4.4 - Pragas	48
3.1.4.5 - Desbaste	48
3.1.5 - Análise d'água utilizada nas irrigações	48
3.1.5.1 - Irrigação	49
3.1.6 - Medições, instrumentação utilizada e sua disposição	50
3.1.7 - Sistema automático de coleta de dados	51
3.1.8 - Estação climatológica	52

3.1.9 - Lisímetro de drenagem e o croqui da área experimental	53
3.1.10 - Parcelas experimentais	55
3.1.11 - Valores primários	55
3.1.12 - Características do crescimento	55
3.1.13 - Características tecnológicas de fibra do algodão e produção	56
3.2 - Métodos	57
3.2.1 - Evapotranspiração de referência - (ET _o)	57
3.2.1.1 - Método da FAO - Penman-Monteith - (ET _o FPM)	57
3.2.1.2 - Método do Tanque Classe A - (ET _o TCA)	60
3.2.2 - Evapotranspiração da cultura - (ET _c)	61
3.2.2.1 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen - (ET _c BERB)	61
3.2.2.1.1 - Razão de Bowen - (β)	61
3.2.2.2 - Lisímetro de drenagem - (ET _c L)	64
3.2.3 - Coeficiente de cultivo - (K _c)	64
3.2.4 - Análise de crescimento destrutiva	64
3.2.4.1 - Altura de planta - (H)	64
3.2.4.2 - Área foliar - (AF)	65
3.2.4.3 - Área foliar da planta - (AFP)	65
3.2.4.4 - Peso verde - (PV)	65
3.2.4.5 - Peso seco - (PS)	66
3.2.4.6 - Taxa de crescimento absoluto - (TCA)	66
3.2.4.7 - Taxa de crescimento relativo - (TCR)	66
3.2.4.8 - Taxa de assimilação líquida - (TAL)	67
3.2.4.9 - Índice de área foliar - (IAF)	67
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 - Ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	68
4.2 - Evapotranspiração de referência - (ET _o)	70
4.2.1 - ET _o estimada a partir do método do Tanque Classe A - (ET _o TCA)	70
4.2.2 - ET _o estimada a partir do método FAO - Penman-Monteith - (ET _o FPM)	71
4.2.3 - Análise comparativa entre os valores da evapotranspiração de referência estimados a partir dos métodos Tanque Classe A e FAO - Penman - Monteith	72
4.3 - Evapotranspiração do algodoeiro herbáceo - (ET _c)	76
4.3.1 - Lisímetro de drenagem - (ET _c L)	76
4.3.2 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen - (ET _c BERB)	77
4.3.2.1 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, para condições de céu claro e com nebulosidade	78
4.3.2.2 - Comportamento diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, antes, durante e depois do dia de irrigação	81
4.3.2.3 - Análise horária dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, para o ciclo fenológico da cultura	83
4.3.2.4 - Análise diária dos componentes do balanço de energia baseado na razão	84

de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, para o ciclo fenológico da cultura	
4.5 - Comportamento diário dos valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos a partir de lisímetros de drenagem e estimados através do balanço de energia baseado na razão de Bowen	86
4.6 - Necessidades hídricas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	88
4.7 - Coeficiente de cultivo – (Kc)	90
4.8 - Análise de Crescimento	93
4.8.1 - Valores primários	93
4.8.1.1 - Altura de plantas – (H)	93
4.8.1.2 - Área foliar da planta – (AFP)	96
4.8.1.3 - Peso seco – (PS)	99
4.8.2 - Características do crescimento	102
4.8.2.1 - Taxa de crescimento absoluto – (TCA)	102
4.8.2.2 - Taxa de crescimento relativo – (TCR)	105
4.8.2.3 - Taxa de assimilação líquida – (TAL)	106
4.8.3 - Índice de área foliar – (IAF)	108
4.8.4 - Características intrínsecas da fibra do algodão	110
4.8.5 - Produção	113
5 - CONCLUSÕES	115
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
7 - ANEXOS	129

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 - Localização aproximada do município de barbalha - CE	43
Figura 3.2 - Capulhos do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	47
Figura 3.3 - Sistema de irrigação utilizado na área experimental	50
Figura 3.4 - Torre micrometeorológica e abrigo meteorológico instalado no interior da área experimental	51
Figura 3.5 - Sistema de aquisição de dados (Datalogger 21 X)	52
Figura 3.6 - Estação climatológica do município de Barbalha – CE, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia -INMET	53
Figura 3.7 - Lisímetro de drenagem e o croqui da área experimental	54
Figura 4.1 - Comportamento médio diário dos valores da evapotranspiração de referência, estimados a partir dos métodos do Tanque Classe A e FAO – Penman - Monteith, em cada uma das fases de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	73
Figura 4.2 - Comportamento diário dos valores da evapotranspiração de referência obtidos a partir dos métodos Tanque Classe A e FAO – Penman - Monteith	74
Figura 4.3 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, para dias <i>sem</i> nebulosidade	79
Figura 4.4 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, para dias <i>com</i> nebulosidade	79
Figura 4.5 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, <i>antes</i> do dia da irrigação	82
Figura 4.6 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, <i>durante</i> o dia da irrigação	82
Figura 4.7 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, <i>depois</i> do dia da irrigação	82
Figura 4.8 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura	83
Figura 4.9 - Comportamento diário dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura	85

Figura 4.10 - Comportamento diário dos valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estimados a partir do BERB e medidos através de lisímetros de drenagem, durante o ciclo da cultura	86
Figura 4.11 - Comportamento diário da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, em cada uma das fases do ciclo fenológico da cultura	88
Figura 4.12 - Consumo hídrico total do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura	89
Figura 4.13 - Comportamento diário dos coeficientes de cultura durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	92
Figura 4.14 - Comportamento diário da altura (H) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	96
Figura 4.15 - Comportamento diário da área foliar da planta (AFP) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	99
Figura 4.16 - Comportamento diário do peso seco (PS) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	102
Figura 4.17 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	104
Figura 4.18 - Taxa de crescimento relativo (TCR) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	106
Figura 4.19 - Taxa de assimilação líquida (TAL) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	108
Figura 4.20 - Comportamento diário do índice de área foliar (IAF) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	109

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1 - Balanço hídrico climatológico do município de Barbalha – CE, segundo Thornthwaite e Mather (1955), obtido a partir das normais climatológicas (1961-1990)	44
Tabela 3.2 - Características físico-hídricas do solo da área experimental	45
Tabela 3.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação da área experimental, durante os experimentos de campo de 2001 e 2002	49
Tabela 4.1 - Número de dias que o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, necessitou para realizar os principais processos fisiológicos, em cada uma das fases de desenvolvimento	68
Tabela 4.2 - Normais climatológicas (1961-1990) e as médias mensais da temperatura do ar (T), insolação (I), evaporação do Tanque Classe A (ECA), umidade relativa do ar (UR) e precipitação (P) do município de Barbalha – CE, referentes ao período de agosto a novembro de 2002	69
Tabela 4.3 - Valores médios diários do saldo de radiação (Rn), da evaporação (ECA), do coeficiente (Kp) e da evapotranspiração de referência do Tanque Classe A (EToTCA), da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade do vento a 2 m de altura (U _{2m}), referentes a cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	71
Tabela 4.4 - Valores médios diários do fator psicrométrico (γ), da inclinação da curva de pressão de saturação do vapor d'água (Δ), do déficit de saturação ($e_s - e_a$), do saldo de radiação (Rn) e da evapotranspiração de referência, obtidos a partir do método da FAO – Penman – Monteith, referentes a cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	72
Tabela 4.5 - Valores das lâminas de irrigação (LI) e da evapotranspiração média do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201 (ETc), obtidos a partir de dois lisímetros de drenagem	76

Tabela 4.6 -	Valores médios diários dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen e dos percentuais do saldo de radiação, utilizados por cada um deles, no decurso de cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	84
Tabela 4.7 -	Valores médios dos coeficiente de cultivo, para cada fase de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201	90
Tabela 4.8 -	Exibe as datas das semanas após semeadura (SAS), número de dias após semeadura (DAS), altura (H), Peso seco (PS) e área foliar da planta do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201 (AFP)	93
Tabela 4.9 -	Valores semanais do índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e da taxa de assimilação líquida (TAL)	103
Tabela 4.10 -	Quantidade de partículas interpretadas como impurezas (CNT), comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice micronaire (NIC), grau de amarelamento (+b) e índice de fiabilidade	111
Tabela 4.11 -	Número de amostras (NA), amostra padrão (AP), primeira colheita (PC), segunda colheita (SC) e número de capulhos (NC)	113

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

LATINOS

AF	Área foliar (cm ²)
AFP	Área foliar da planta (cm ²)
AFP₁	Área foliar da planta no tempo t ₁ (cm ²)
AFP₂	Área foliar da planta no tempo t ₂ (cm ²)
AL	Altura da planta (cm)
AL₁	Altura da planta no tempo t ₁ (cm)
AL₂	Altura da planta no tempo t ₂ (cm)
Al	Alumínio
ALT	Varição de armazenamento (mm)
AP	Amostra padrão
ARM	Armazenamento de água pelo solo (mm)
ASDP	Área De solo disponível à planta (m ²)
Atm.	Atmosfera
AT	Área transversal do lisímetro de drenagem (2,7 m ²)
B	Extensão da bordadura (m)
BERB	Balanco de energia baseado na razão de Bowen
+b	Grau de amarelamento
BOC	Balanco de ondas curtas (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
BOL	Balanco de ondas longas (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
C	Comprimento da folha (cm)
Ca	Cálcio
CE	Ceará
CE	Condutividade Elétrica (µmhos/cm)
Cm	Centímetro
CNPA	Centro Nacional de Pesquisa do Algodão
CNT	Quantidade de partículas interpretada como impureza
c_p	Calor específico do ar seco à pressão constante (1,013x10 ⁻³ MJkg ⁻¹ °C ⁻¹)
CSP	Índice de fiabilidade
D	Drenada do tanque (litros)
Da	Densidade aparente (gcm ⁻³)
DAE	Dias após emergência
DAP	Dias após plantio
DAS	Dias após semeadura
DEF	Deficiência hídrica estimada (mm)
DJ	Dia Juliano
DP	Desvio padrão
d_r	Inverso da distância relativa Terra - Sol (rad)
E	Evaporação (mm dia ⁻¹)
e_a	Pressão parcial do vapor d'água (kPa)
ECA	Evaporação do Tanque Classe A (mm dia ⁻¹)

ELG	Alongamento à ruptura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
$e^0(T)$	Pressão de saturação do vapor d'água (kPa)
$e(T)$	Pressão atual (ou parcial) do vapor d'água (kPa)
$e_s(T)$	Pressão média de saturação do vapor d'água (kPa)
$(e_s - e_a)$	Déficit de saturação (kPa)
ET	Evapotranspiração (mm dia ⁻¹)
ETc	Evapotranspiração de cultura (mm dia ⁻¹)
ETcBERB	Evapotranspiração de cultura estimada a partir do BERB (mm dia ⁻¹)
ETcL	Evapotranspiração de cultura medida com Lisímetros (mm dia ⁻¹)
ETm	Evapotranspiração máxima (mm dia ⁻¹)
ETo	Evapotranspiração de referência (mm dia ⁻¹)
EToTCA	Evapotranspiração de referência Tanque Classe A (mm dia ⁻¹)
EToFPM	Evapotranspiração de referência FAO-Penman-monteith (mm dia ⁻¹)
EToE	Evapotranspiração de referência a partir de Kp estimado (mm dia ⁻¹)
EToT	Evapotranspiração de referência a partir de Kp tabelado (mm dia ⁻¹)
ETR	Evapotranspiração real (mm dia ⁻¹)
EXC	Excedente hídrico estimado (mm)
Ln	Base do logaritmo natural (2,7183)
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FC	Fator de correção
FF	Fitomassa fresca (g planta ⁻¹)
FS	Fitomassa seca (g planta ⁻¹)
FV	Fitomassa verde (g planta ⁻¹)
G	Densidade de fluxo de calor sensível no solo (W m ⁻²)
g	Grama
G_{sc}	Constante solar (0,8020 MJ m ⁻² min ⁻¹)
H	Densidade de fluxo de calor sensível para o ar (W m ⁻²)
H	Altura da planta (cm)
h	Hora
ha	Hectare
HVI	Instrumento de alto volume
I	Insolação (h)
IAF	Índice de área foliar (m ² m ⁻²)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Irrigação (litros)
K	Potássio
Kc	Coefficiente de cultivo
Kg	Quilograma
Kp	Coefficiente do tanque Classe A
KpE	Coefficiente do tanque Classe A estimado
KpT	Coefficiente do tanque Classe A tabelado
KH	Coefficiente de difusão turbulenta de calor sensível (m ² s ⁻¹)
Kw	Coefficiente de difusão turbulenta de vapor d'água (m ² s ⁻¹)
L	Lisímetro de drenagem
L	Calor latente de vaporização da água (2,45 MJ kg ⁻¹)
l	Litro

LI	Lâmina irrigada (mm)
Lat.	Latitude
LE	Densidade de fluxo de calor latente (W/m^2)
LF	Largura da folha (cm)
Ln	Logaritmo neperiano
Long.	Longitude
M	Metro
Max	Máxima
Méd	Média
MIC	Índice micronaire
Min	Mínima
mm	Minuto
MIP	Manejo Integrado de Pragas
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
NA	Número de amostras
Na	Sódio
NC	Número de capulhos
NF	Número de folhas
P	Fósforo
PP	Precipitação (mm)
P₀	Pressão atmosférica média local (kPa)
PC	Primeira colheita
PL	Planta
PS	Peso seco (g)
R²	Coefficiente de determinação
R_a	Irradiância solar extraterrestre ($MJ m^{-2} dia^{-1}$ ou $W m^{-2}$)
R_d	Refletância (%)
R_n	Saldo de radiação à superfície ($MJ m^{-2} dia^{-1}$ ou $W m^{-2}$)
R_r	Radiação solar refletida ($MJ m^{-2} dia^{-1}$ ou $W m^{-2}$)
R_s	Irradiância solar global ($MJ m^{-2} dia^{-1}$ ou $W m^{-2}$)
R_{so}	Irradiância solar de dias de céu claro ($MJ m^{-2} dia^{-1}$ ou $W m^{-2}$)
S	Sul
s	Segundo
SC	Segunda colheita
SFI	Índice de fibras curtas
STR	Resistência ($gf tex^{-1}$)
SUDENE	Superintendência Para o Desenvolvimento do Nordeste
T	Temperatura do ar ($^{\circ}C$)
t	Tempo
TA	Termo aerodinâmico (mm/dia)
TE	Termo energético (mm/dia)
TAL	Taxa de assimilação líquida ($g m^{-2} semana^{-1}$)
TCA	Taxa de crescimento absoluto da cultura ($g semana^{-1}$)
TCR	Taxa de crescimento relativo cultura ($g g^{-1} semana^{-1}$)

TE	Tratamento estressado
T_{máx}	Temperatura máxima diária do ar (°C)
T_{mín}	Temperatura mínima diária do ar (°C)
T_{med}	Temperatura média diária do ar (°C)
TNE	Tratamento não estressado
T_s	Temperatura do termômetro de bulbo seco (°C)
T_U	Temperatura do termômetro de bulbo úmido (°C)
C	Comprimento (cm)
UHM	Uniformidade (%)
UR_{med}	Umidade relativa média do ar (%)
U_{2m}	Velocidade média diária do vento a 2 m de altura da superfície (ms ⁻²)
Z	Altitude (m)
W	Oeste
W_s	Ângulo horário (rad)

GREGOS

α	Albedo (%)
β	Razão de Bowen
γ	Fator psicrométrico (kPa °C ⁻¹)
λ	Calor latente de vaporização d'água (2,45 MJ kg ⁻¹)
ϕ	Latitude (rad)
δ	Declinação solar (rad)
λE	Densidade de fluxo de calor latente (W m ⁻²)
σ	Constante de Stefan Boltzmann (4,90x10 ⁻⁹ MJ m ⁻² K ⁻⁴ dia ⁻¹)
ε	Razão entre as massas moleculares de água e do ar seco (0,622)
Δ	Inclinação da curva de pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C ⁻¹)

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Tabela 7.1 - Valores diários da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos através de lisímetros de drenagem (ETcL) e estimados a partir do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ETcBERB), da evapotranspiração de referência estimados a partir dos métodos do Tanque Classe A (EToTCA) e FAO – Penman – Monteith (EToFPM) e dos coeficientes de cultivo (Kc), obtidos durante o ciclo fenológico da cultura	130

RESUMO

Realizou-se experimento agrometeorológico no Campo Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa - Algodão), localizada no município de Barbalha – CE (07°19'S; 39°18'W; 408,07m), durante os períodos de agosto a dezembro de 2001 e 2002, cujo objetivo principal foi à determinação das necessidades hídricas do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L. r. latifolium Hutch*), cultivar BRS 201, a partir do manejo d'água visando assegurar crescimento, desenvolvimento, produtividade e rentabilidade econômica excelente, no ambiente semi-árido do Cariri cearense. Estimou-se e mediu-se a evapotranspiração da cultura através dos métodos do balanço de energia baseado na razão de Bowen e lisímetros de drenagem, respectivamente. A evapotranspiração de referência foi estimada a partir dos métodos do Tanque Classe A e FAO-Penman-Monteith. Nos dois experimentos de campo foi montada uma mini-torre micrometeorológica no interior da área experimental, para instalação de dois piranômetros, um saldo radiômetro, dois psicrômetros com termopares de cobre-constantan (mantidos a 0,5 m e 1,5 m acima do dossel da cultura) e dois anemômetros. Foram instalados, ainda, dois fluxímetros a 0,02 m de profundidade, posicionados na fileira. Estes sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados programado para efetuar leituras a cada 5 segundos e extrair médias a intervalos de 20 minutos. As diferenças entre os valores da evapotranspiração de referência diária, estimada através dos dois métodos foram pequenas. No entanto, recomenda-se o FAO-Penman-Monteith, por ser universal e apresentar uma base física mais sólida. Os valores mínimos e máximos medidos e estimados da ET_c, durante o ciclo da cultura, foram de 1,80 (5,80) e 2,06 (7,11) com médias de 4,46 e 5,12 mm/dia e um consumo total de água de 450,90 e 517,37 mm, respectivamente. Os valores máximos e mínimos das ET_{oFPM} e ET_{oTCA}, durante o ciclo da cultura, foram de 8,95 (4,37) e 10,71 (3,73) com médias de 6,42 e 7,12 mm/dia, respectivamente. O K_c variou de 0,27 a 1,23, a depender da combinação dos métodos utilizados. As plantas da cultura atingiram altura de 96,50 cm, fitomassa seca de 123,49 g e área foliar 5.145, 60 cm², aos 84 DAS. As taxas de crescimento absoluto, relativo, de assimilação líquida alcançaram valores máximos medidos de 4,39 g/dia, 0,1181 (g/g)/dia, 0,0018 g/cm² dia, respectivamente. O rendimento médio da cultura foi de 3.014,6 Kg.ha⁻¹.

Palavras-Chave: Evapotranspiração, balanço de energia, lisímetro de drenagem e coeficiente de cultivo.

ABSTRACT

A field experiment was carried out at the Experimental Field of the Brazilian Company for Agricultural Research (Embrapa - Algodão), located in the village of Barbalha - CE (07°19'S; 39°18'W; 408,07m), during the periods from August to December 2001 and 2002 in a semi-arid environment of Northeast Brazil. The main objective of the study was the determination of the water requirements of cotton crop (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch), cultivar BRS 201, under an irrigation system capable of assuring a good growth, development, and yield. The evapotranspiration was estimated and measured according with the energy balance based on Bowen ratio method and two lisimeters, respectively. The reference evapotranspiration was estimated with the Class A pan and FAO-Penman-Monteith methods, respectively. In the two field experiments a micrometeorological tower was set up inside the experimental area, for installation of two piranometer, a net radiometer, two psychrometers of copper-constantan termocouples (kept at 0.5 m and 1.5 m above the canopy of the culture) and two anemometers. Two plates for measuring soil heat flux at 0.02 m depth were also installed. These sensors were connected to a datalogger (21X Campbell Inc) programmed to make readings at every 5 seconds and extracting averages at a 20 minutes intervals. The differences among the values of the reference daily evapotranspiration were small. However, it is recommended the use of the FAO-Penman-Monteith method because it is more accurate and used and large scale. The minimum and maximum estimated and measured Etc, during the crop season of the cotton crop were equal to 1.80 (5.80) and 2.06 (7.11), respectively, with averages of 4.46 and 5.12 mm/day. The total amounts of water consumption were equal to 450.90 mm and 517.37 mm, respectively. The maximum and the minimum daily EToFPM and EToTCA, during crop season were 8.95 mm (4.37 mm) and 10.71 mm (3.73 mm) with averages of 6.42 mm and 7.12 mm, respectively. The crop coefficient Kc varied from 0.27 to 1.23, depending on the combination of the used methods. The plants of the cotton crop reached a height of 96.50 cm, a dry biomass of 123.49 g and a foliar area of 5,145.60 cm², on the day 84 after sowing. The rates of absolute and relative growth, and liquid assimilation reached maximum values of 4.39 g/day, 0.1181 (g/g).day⁻¹, 0.0018 g.cm⁻² day, respectively. The average yield was equal to 3,014.6 Kg.ha⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras referências históricas do algodão datam de muitos séculos antes de Cristo. Na América, vestígios encontrados no litoral norte do Peru, evidenciam que povos milenares daquela região já manipulavam o algodão. No Brasil, pouco se sabe sobre a pré-história dessa malvácea; sabe-se que, na época do descobrimento, os indígenas já a cultivavam e a transformavam em fios e tecidos.

Foi só em meados do século XVIII com a revolução industrial, que o algodão foi transformado na principal fibra têxtil e no mais importante produto da América Latina. No Brasil, o Estado do Maranhão despontou como o primeiro grande produtor desta malvácea e em 1760 chegou a exportar para a Europa 130 sacas de algodão. Anos mais tarde, em 1830, as exportações daquele Estado já alcançavam 78.300 sacas (Passos, 1977).

O algodão sempre foi considerado a mais importante das fibras têxteis naturais, ao mesmo tempo em que se constituiu na planta de aproveitamento mais completo e a que oferece os mais variados produtos de utilidade. É fonte de matéria-prima para as indústrias de fiação e tecelagem e de produção de óleos comestíveis (Campos, 1991). Do algodoeiro quase tudo é aproveitado, principalmente a fibra e a semente. A fibra, principal produto do algodão, possui várias aplicações industriais, dentre as quais pode-se citar: confecção de fios para a tecelagem de vários tipos de tecidos, preparação de algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro, cobertores e estofamento, obtenção de celuloses, películas fotográficas, chapas para radiografia e outros (Corrêa, 1989). Já a semente do algodão é rica em óleo, que depois de refinado, é utilizado na alimentação humana e na fabricação de margarina e sabão (Carvalho, 1996).

O algodão é produzido em mais de 80 países. A produção mundial de algodão em pluma, em 2000, foi de aproximadamente 20 milhões de toneladas. Os principais países produtores, foram: China e Estados Unidos da América. O Brasil ocupou a oitava posição, com uma produção média de 630 mil toneladas de algodão em pluma. O algodoeiro é cultivado em mais de 17 Estados da Federação, ocupando uma área de quase um milhão de hectares. Os principais Estados brasileiros produtores, em 2000, foram: Mato Grosso, Goiás e São Paulo. Mais de 150 países consumiram estes malváceos, em 2000, sendo China e Estados Unidos da América os principais países consumidores de algodão em pluma. O Brasil ocupou a oitava posição, com um consumo médio de 850 mil toneladas. Desse total, 300 mil toneladas foram consumidas na região Nordeste (Associação Brasileira da Indústria Têxtil, 2000). O parque têxtil do Estado do Ceará ocupa o segundo lugar no país, consumindo, em média, 170 mil toneladas em pluma por ano (Carta Têxtil, 1999). Na safra de 1998, a indústria têxtil cearense consumiu mais de 150 mil toneladas de algodão em pluma, sendo 90% importados (Silva Junior et al., 1999).

O algodoeiro foi, durante muito tempo, a principal cultura de subsistência no semi-árido do Nordeste brasileiro, sendo de capital importância para a economia da região, uma vez que representava 25% da renda agrícola e ocupava aproximadamente 60% da força de trabalho do campo (Souza, 1986). Para Almeida (1987), o algodoeiro herbáceo foi responsável pela ocupação de aproximadamente 413.000 famílias e mais de 2.000.000 de pessoas com o seu cultivo em todos os nove Estados da região, assumindo posição de destaque na Bahia, Ceará, Paraíba e no Rio Grande do Norte.

O algodoeiro é uma planta que tem sido bastante estudada em todo mundo, sendo considerada uma cultura muito sensível às variações do conteúdo de água do solo, principalmente, durante as fases de floração e de formação das maçãs. O manejo hídrico inadequado desta planta pode comprometer a sua fibra além de proporcionar alterações significativas na fenologia e na produção (Kakida & Marinato, 1982). Informações sobre o consumo hídrico diário ou de subperíodos do ciclo vegetativo do algodoeiro, constitui elemento fundamental para o estudo das relações entre a atividade agrícola e a produtividade desta cultura. Tais informações tornam-se mais relevantes quando há necessidade de suplementação d'água ao solo pela irrigação, proporcionando o uso da água de forma mais racional e eficaz, de acordo com a exigência do algodoeiro.

Nos últimos anos, muitas pesquisas têm sido realizadas, visando determinar o consumo hídrico de culturas por meio do coeficiente de cultivo, em suas diferentes fases de desenvolvimento. Souza et al. (1987) asseguram que estimativas confiáveis de K_c ao longo da estação de cultivo, permitem que se conheça a necessidade hídrica de uma determinada cultura, além de facilitar o estabelecimento da frequência e quantificação da irrigação, sem necessidade de medição da umidade do solo.

A estimativa ou medidas das necessidades hídricas de uma determinada cultura é feita com base nas perdas d'água do conjunto solo-planta para a atmosfera através dos processos de evaporação e transpiração. Inúmeros métodos de estimativa da evapotranspiração têm sido sugeridos, descritos, testados e aplicados com variados graus de sucesso. Para Pereira et al. (2001), a escolha de um método de estimativa da evapotranspiração depende de uma série de fatores. O primeiro deles é a disponibilidade de dados meteorológicos, pois os métodos mais complexos, exigem grande número de variáveis, a exemplo do método de Penman-Monteith. O segundo fator é a escala de tempo requerida. Normalmente, métodos empíricos, como é o caso dos lisímetros de drenagem, apresentam melhores estimativas em escalas de tempo maiores, enquanto que aqueles que utilizam o balanço de energia baseado na razão de Bowen, podem ser empregados até mesmo na escala horário. Finalmente, o terceiro fator, envolve a adaptabilidade dos métodos empíricos à região de estudo, pois esses não são de aplicação universal, requerendo ajustes locais.

OBJETIVO PRINCIPAL

Embora já existam estudos acerca das necessidades hídricas de outras variedades de algodoeiro, não há registro de estudos sobre tais necessidades para a variedade BRS 201, particularmente em condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro. Portanto, esta pesquisa tem como *objetivo principal*, estimar as necessidades hídricas da cultivar BRS 201, de forma a possibilitar o manejo correto e racional da água utilizada nos projetos de irrigação, bem como, assegurar o crescimento, desenvolvimento, produtividade e rentabilidade econômica dessa cultura na região do Cariri cearense.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimativa das necessidades hídricas da cultura, em cada fase fenológica, por meio de coeficiente de cultivo (K_c);
- Estimativa da evapotranspiração horária e diária da cultura (ET_c), através do balanço de energia baseado na razão de Bowen;
- Medidas da evapotranspiração média diária da cultura (ET_c), para períodos semanais, a partir de medições com lisímetros de drenagem;
- Estimativa da evapotranspiração de referência diária da cultura (ET_o), através dos métodos FAO - Penman-Monteith, a partir de dados de estações climatológica e automática, e Tanque “Classe A”;
- Análise de crescimento, desenvolvimento e produção da cultura, em condições irrigadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Estresse Hídrico

O estresse hídrico na planta é um dos fatores que mais limitam a sua produção biológica e econômica. Ele é motivado tanto pela falta como pelo excesso d'água. Estudos sobre estresse hídrico mostram que o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas são afetados de muitas maneiras, e que estes deixam de ser prejudicados a medida em que a umidade do solo atinge valores ótimos. A forma com que o estresse hídrico afeta o crescimento e o rendimento da cultura varia de acordo com a espécie e sua fase fenológica (Doorenbos & Kassam, 1979).

2.1.1 - Déficit hídrico

Kramer (1969) considera uma planta com déficit hídrico quando o seu conteúdo d'água decresce para níveis onde o crescimento e desenvolvimento são afetados, provocando alterações em sua anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica. Para Marani & Amirav (1971) o algodoeiro herbáceo apesar de ser uma cultura relativamente tolerante à seca, seu rendimento pode ser sensivelmente reduzido quando submetido a déficit hídrico. Ferreira et al. (1979) relatam que plantios de algodão submetidos a déficits hídricos apresentaram taxas de assimilação líquida (TAL) e de crescimento relativo (TCR), inferiores ao algodoeiro irrigado. Para os autores, a redução na taxa de assimilação líquida, possivelmente, está ligada à ocorrência de uma menor eficiência fotossintética nas plantas, uma vez que isso expressa a fotossíntese líquida média de todas as folhas na planta. Potkile et al. (1989) estudando o efeito

do déficit hídrico sobre cultivares precoces de algodoeiro anual, concluíram que a redução na produção de sementes foi maior quando o déficit hídrico foi imposto na fase de frutificação do que na fase de floração. Para Ollala Mañas & Juan Vallero (1993) quando o suprimento de água às plantas é ótimo, o processo de transpiração é intenso e a perda de umidade pela planta é mais ou menos igual à evaporação de uma superfície livre de água. De acordo com os autores, em estado de déficit hídrico, a planta reage através de mecanismos de defesa, para reduzir a transpiração. Sob estas condições, ocorre redução de matéria seca, mais ou menos importante, de acordo com a espécie, a cultivar e com o prolongamento e a intensidade do déficit. Conforme Paulino & Pereira (1994) a água disponível no solo é um dos fatores mais importantes na produtividade vegetal, mas as condições ideais de umidade no solo são raras e a deficiência hídrica é, em geral, mais uma regra do que exceção. Para Silva (1997) o déficit hídrico pode afetar negativamente as funções fisiológicas da planta (fotossíntese e respiração), além de outras reações metabólicas, podendo, ainda, repercutir nas variações anatômicas (estômatos), no crescimento, na reprodução e desenvolvimento das plantas.

Luz et al. (1998) objetivando estudar o efeito do déficit hídrico em diferentes fases de desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BR1, sobre produtividade, crescimento, parâmetros fenológicos da planta e eficiência de uso de água, constataram que a imposição de déficit hídrico durante as fases de pré-floração e de floração/frutificação, condicionou uma redução na produtividade do algodão em caroço, em cerca de 48% em relação à testemunha. De acordo com os autores, o tratamento em que se irrigou apenas na fase de floração/frutificação, apresentou produtividade da ordem de 2.590 kg.ha⁻¹ e a maior eficiência de uso de água (0,92 kg.cm⁻³).

Silva et al. (1998) realizaram um experimento de campo em Ipanguaçu, RN, no período de agosto a dezembro de 1992, objetivando analisar os efeitos provocados pelo déficit hídrico em variáveis fenológicas e características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H. Foram realizadas duas parcelas experimentais com dois níveis de irrigação, cujos resultados demonstraram que a cultivar no tratamento não estressado apresentou superioridade em altura de planta, índice de área foliar e fitomassas seca e verde, em relação ao tratamento que sofreu deficiência hídrica. A análise de características tecnológicas da fibra não permitiu evidenciar diferenças devidas aos tratamentos e a cultura

apresentou rendimento de 3.960 e 2.690 kg/ha nos tratamentos irrigados e estressados, respectivamente.

Nápoles et al. (1999) buscando estabelecer a melhor época de suspensão da irrigação para o algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA – 7H, de forma a não comprometer o rendimento e a qualidade da fibra, realizaram um estudo em um solo aluvial franco-arenoso, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no município de Souza, PB, e constataram que o déficit hídrico no início da floração compromete a produtividade. Por outro lado, observaram que o prolongamento das irrigações faz com que a cultura invista mais nas suas estruturas vegetativas em detrimento das reprodutivas.

A água desempenha papel fundamental no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo e a redução do crescimento celular é um dos primeiros efeitos do déficit hídrico, que além de provocar importantes modificações metabólicas pode causar decréscimo no rendimento (Beltrão, 1999).

2.1.2 - Excesso hídrico

O algodoeiro, quando cultivado em solos com deficiência total ou parcial de oxigênio e dependendo do tempo de duração do estresse hídrico, sofre efeitos consideráveis no metabolismo, influenciando o seu crescimento e desenvolvimento e, como consequência, afeta o rendimento das plantas. Para Beltrão et al. (1997) a cultivar CNPA Acala 1 recomendada para plantio irrigado ou de sequeiro em regiões de elevada precipitação pluvial, apresentou importantes modificações, reduzindo a produção e a precocidade quando cultivada em solo encharcado

Para Souza et al. (1997) dependendo da fase de crescimento e da duração do estresse anoxítico, o algodoeiro herbáceo é considerado uma planta sensível à deficiência de oxigênio no solo. De acordo com os autores, se o estresse anoxítico acontecer durante a fase de floração, diversas alterações fisiológicas podem ocorrer no algodoeiro herbáceo, como redução da altura, da atividade invertase, do rendimento, do potencial hídrico da folha e da atividade fotossintética e respiratória.

Almeida (1987) estudou os efeitos do encharcamento do solo no crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo, cultivares CNPA 3H e CNPA Precoce 1,

chegando as seguintes conclusões: os cultivares pesquisados são sensíveis ao encharcamento do solo, principalmente, na fase de botão floral; o encharcamento do solo na fase de botão floral, independente de cultivar, reduz significativamente a área foliar, biomassa epígea e as produções de algodão em caroço e em pluma; o encharcamento do solo tanto na fase de botão floral quanto de floração, induz ao amarelecimento precoce das folhas cotiledonares e ao surgimento de raízes adventícias na região do colo; o encharcamento do solo na fase de floração, independente de cultivar, aumenta significativamente a altura das plantas e as biomassas epígea, hipógea e total; o encharcamento do solo nas fases de botão floral e de floração, independente de cultivar, reduz significativamente as produções em caroço e em pluma, porém aumenta o comprimento da fibra.

Conforme Wareing & Phillips (1981) o alagamento do sistema radicular, na maioria das plantas, causa reações precoces, tais como: murcha temporária das folhas, redução na taxa de crescimento do alongamento dos internódios e abscisão das folhas, refletindo num drástico distúrbio do estado hormonal das plantas.

Segundo Huck (1970) condições de alagamento ou encharcamento temporário do solo pode levar o algodoeiro a sofrer profundas modificações no seu metabolismo. O autor, estudando o efeito de diversos níveis de oxigênio no solo sobre o comportamento do algodoeiro em condições controladas verificou que este elemento é vital para o crescimento das raízes, bem como, necessário para que ocorra absorção da água e nutrientes pelo algodoeiro, uma vez que, se o solo permanecer de dois a três minutos em condições de anoxia total, o crescimento radicular é paralisado e, se for prolongado por mais três horas, a raiz principal morre.

Tackett & Pearson (1964) foram enfáticos em afirmar que entre as plantas cultivadas, uma das mais sensíveis ao estresse anoxítico no ambiente edáfico é o algodoeiro herbáceo, que pode sofrer profundas modificações no seu metabolismo, com potencial de redução do crescimento e do desenvolvimento e, conseqüentemente, do rendimento da planta.

Albert & Armstrong (1931) estudando o comportamento da frutificação de plantas jovens de algodoeiro em solos saturados e com pouca aeração, verificaram que o déficit de oxigênio no solo, induzido pelo alto teor de umidade, provocou aumento na percentagem de queda dos botões florais e atraso no crescimento da planta.

2.2 - Necessidades hídricas

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas, em suas diferentes fases fenológicas, é importante para a agricultura irrigada porque, associado aos demais fatores de produção, permite ao irrigante a obtenção de altas produtividades, com máxima economia de água. Uma vez que a irrigação é a principal atividade humana consumidora de água e considerando-se o aumento dos custos com energia, além da concorrência pelos recursos hídricos e energéticos entre os setores industriais, urbano e agrícola, torna-se necessário definir *quando e quanto* irrigar, visando atender às necessidades hídricas das plantas, de maneira racional (Barreto et al., 1999).

Bezerra et al. (1995) conduziram experimentos de campo com o algodoeiro herbáceo irrigado, na área experimental da EMPARN, Ipanguaçu-RN, objetivando determinar a demanda hídrica da cultivar CNPA 6H. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi monitorada diariamente, a partir da emergência até o final do ciclo, através de balanço hídrico. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada a partir de dados meteorológicos, utilizando-se os métodos propostos por Penman, Jury & Tanner, Penman modificado pela FAO, Tanque Classe A, Priestley & Taylor, linacre e Hargreaves. De acordo com os autores, a evapotranspiração foi crescente da emergência, com um mínimo de 2,7 mm, até a fase reprodutiva com um máximo de 9,9 mm, a partir do qual foi decrescente. O consumo de água pelas plantas foi de aproximadamente 616,49 mm, com valor médio de 6,7 mm/dia.

Azevedo et al. (1993) realizaram um experimento de campo com o algodoeiro herbáceo irrigado, em Souza-PB, no período de agosto a dezembro de 1990, objetivando o monitoramento diário da evapotranspiração máxima medida (ETm) e o potencial de referência (ETo), estimados a partir de métodos climatológicos, visando estabelecer o comportamento estacional do coeficiente de cultivo. De acordo com os autores, o consumo hídrico diário foi máximo na décima semana (ETm = 6,4 mm/dia) e totalizou 440,0 mm no ciclo vegetativo.

Conforme Oliveira et al. (1987) o consumo médio do algodoeiro herbáceo foi de aproximadamente 4,4 mm/dia, com mínimo de 2,4 mm/dia no início de crescimento das plantas e um máximo de 6,24 mm/dia, no período de plena floração e frutificação da cultura.

Kakida & Marinato (1982) utilizaram lisímetros de drenagem, medindo 2 m x 2 m de superfície e 1,20 m de profundidade, para determinar o consumo hídrico do algodoeiro

herbáceo, cultivar IAC – 17. Conforme os autores, a demanda de água do algodoeiro herbáceo é crescente até a faixa de 60 a 75 dias após semeadura. A partir deste período, a demanda é decrescente. Durante os dois anos estudados, o consumo de água pelas plantas do algodoeiro herbáceo foi de 415,0 mm em 1982 e de 668,0 mm em 1981.

Dependendo do clima e da duração do ciclo fenológico, o algodoeiro necessita de uma certa quantidade de água em cada fase, para atender suas necessidades hídricas. No início do período vegetativo, as necessidades hídricas da cultura são baixas, elevando-se, porém, durante o período de floração, quando a área foliar atinge seu máximo. Em etapas posteriores do período de crescimento, essas necessidades diminuem. Um suprimento adequado de água é necessário para que haja um ótimo crescimento, uma boa brotação e frutificação e para a formação de maçãs sadias. O excesso de água no início do período de crescimento limita o desenvolvimento das raízes e da cultura. O algodoeiro necessita de suprimento adequado de água, particularmente, um pouco antes e durante a formação dos botões. Suprimento contínuo de água durante os períodos de abertura das flores e formação da colheita resulta em crescimento prolongado e rendimento adicional. Mudanças bruscas no suprimento de água afetam adversamente o crescimento e provoca a queda de flores e maçãs. Déficits hídricos severos durante a floração podem deter completamente o crescimento, porém, com subsequente suprimento de água o crescimento da cultura é recuperado e a formação de flores é retomada. Quando o ciclo fenológico é curto, tais condições resultam em rendimento menor (Doorenbos & Kassam, 1979).

2.3 - Lisímetro de drenagem

O lisímetro ou evapotranspirômetro é um equipamento que consiste de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo, e que permite conhecer com detalhes alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado. Inicialmente, os lisímetros foram concebidos para estudar a drenagem profunda e a concentração de nutrientes extraídos do volume de solo. A evapotranspiração passou a ser determinada como um subproduto, daí serem conhecidos também como evapotranspirômetros (Pereira et al., 1997).

Para Bernardo (1989) lisímetro de drenagem ou de percolação são tanques enterrados no solo, dentro dos quais, mede-se a evapotranspiração. Segundo o autor, esses

tanques (tambores, tanque de amianto ou tanque de metal pré-fabricado, etc.) devem ter dimensões mínimas de 1,5 m de diâmetro por 1,0 m de altura; tem que ser cheio com solo do local onde foi instalado, mantendo a mesma ordem dos horizontes; deve-se colocar no fundo do tanque, uma camada de mais ou menos 10 cm de brita coberta com uma camada de areia grossa, no intuito de facilitar a drenagem d'água que percola através do tanque, e que posteriormente, será conduzida até um recipiente que fica localizado na caixa de coleta.

De acordo com Reichardt (1987) o evapotranspirômetro ou lisímetro de drenagem é o método direto mais comum utilizado na medição da evapotranspiração. Conforme o autor, ele consta de um tanque (alvenaria, cimento amianto, etc.) com terra, enterrado no terreno, dentro da área na qual será plantada a cultura da qual se deseja medir a evapotranspiração. O tanque possui um sistema de drenagem que permite a medida da água que percola pelo solo. Sua área não deve ser menor que 1 m², podendo chegar a 10 m². Sua profundidade deve ser grande, de 0,5 m para mais, dependendo da cultura. Ao encher o reservatório com solo, inicia-se com uma camada de cascalho e outra de areia fina. O solo deve ser colocado, obedecendo às camadas que ocorrem no perfil. Para fazer uma medida, o solo deve ser molhado, até aparecer água de drenagem no poço de coleta. Depois de 1 a 2 dias, a drenagem cessa, a água do solo encontra-se em equilíbrio. Nestas condições, inicia-se o período de medida, sendo a evapotranspiração medida pelo total de água usado pela vegetação em dado período de tempo, determinada pela diferença entre as quantidades de água colocada e percolada.

Camargo (1962) utilizou uma bateria de evapotranspirômetros de drenagem feitos de caixa retangulares de cimento – amianto (caixa d'água de 300 litros), para determinar a evapotranspiração potencial mensal de um gramado, em três localidades do Estado de São Paulo. De acordo com o autor, os lisímetros de drenagem funcionam adequadamente apenas em períodos longos de observações (7 a 10 dias).

2.4 - Tanque Classe A

Um dos modelos de tanque evaporimétrico mais difundidos no Ocidente e adotado no Brasil é o Classe A, desenvolvido pelo U. S *Weather Bureau*. Trata-se de um tanque não enterrado montado a céu aberto sobre uma grade de barrotes de madeira, colocado

em nível. Como acessórios, o tanque evaporimétrico Classe A possui um poço tranqüilizador, um micrômetro e um nível de pedreiro (Varejão-Silva, 2000). Para Barreto et al. (1999) o método do Tanque Classe A é um dos mais práticos para determinação das necessidades hídricas do algodoeiro, sendo necessário, ao irrigante, dispor de informações da evaporação (ECA), do coeficiente do tanque (K_p) e do coeficiente de cultura (K_c). No intuito de contornar estas limitações, Pereira et al. (1995) propuseram um modelo alternativo para a determinação do K_p , que leva em consideração a resistência do dossel de um gramado (r_c) e a resistência aerodinâmica (r_a) ao transporte de vapor da água. Este modelo indica que o coeficiente do tanque evaporimétrico é dependente da razão (r_c/r_a) e da temperatura do ar, que por sua vez, determina o valor da tangente à curva de pressão de saturação do vapor da água.

Entre os tanques de evaporação, o tanque evaporimétrico Classe A tem sido recomendado por muitos autores para a estimativa da evapotranspiração de referência, principalmente quando se deseja utilizá-lo na estimativa da evapotranspiração das culturas, para manejo da água em projetos de irrigação (Bernardo, 1989; Reichardt, 1987).

A estimativa da evapotranspiração de referência a partir da evaporação medida no Tanque Classe A, requer uma correção, denominada de coeficiente do tanque (K_p), que depende do tamanho e natureza da área de bordadura, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar. Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram uma tabela que sistematiza o valor de k_p , em função desses fatores apresentados, após exaustiva análise de dados experimentais obtidos em diferentes regiões do planeta.

2.5 - FAO - Penman – Monteith

Entre os diversos métodos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência, o de Penman (1948) foi considerado por muitos pesquisadores, como sendo um método padrão, por ser o primeiro a combinar os efeitos do balanço vertical de energia (termo energético) com aqueles do poder evaporante do ar (termo aerodinâmico). Monteith (1965) incorporou modificações no termo aerodinâmico da equação de Penman, incluindo dois valores de resistência ao fluxo de vapor d'água. A resistência do dossel do cultivo (r_c), decorrente das características fisiológicas da planta, e a resistência aerodinâmica (r_a), que incluem o papel do vento na difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água. As nações

Unidas e a FAO (Food and Agriculture Organization) adotaram por mais de uma década o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) proposta por Doorenbos & Pruitt (1977). Allen et al. (1989) comparando as estimativas de ET_o obtidas pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith, com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o modelo que melhor se adequou às medições diárias e mensais de ET_o e, a alfafa como a planta que melhor se ajustou como cultura de referência, visto que a altura e a rugosidade da mesma, se aproximam mais da maioria das culturas. No Brasil, sua utilização já é bastante difundida, dentre os pesquisadores que já se utilizaram desse método, com o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência, destacando-se, entre outros: Teixeira (1997), Silva (2000), Fronza (2001), Moura (2001).

2.6 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen

O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen tem sido amplamente utilizado por vários pesquisadores de diferentes instituições de pesquisa e universidades do mundo inteiro, para estimar a densidade de fluxo de calor latente e, conseqüentemente, a evapotranspiração de uma determinada superfície vegetada. Dentre eles, destacam-se: Ávila Netto (1997); Prueger et al. (1997); Cândido (1998); Dugas et al. (1998); Lopes (1999); Burba et al. (1999); Silva (2000); Todd et al. (2000); Moura (2001), Azevedo et al. (2003).

Angus & Watts (1984) afirmaram que sob condições úmidas o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen pode apresentar bons resultados na estimativa da evapotranspiração de uma comunidade de plantas; porém, esse método pode não ser tão preciso para condições secas ou com considerável advecção de energia em condições úmidas. Segundo os autores, a estimativa da densidade de fluxo de calor latente, feita através desse método, requer algumas considerações, dentre elas, a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e de vapor d'água.

Para Gay (1988) as limitações do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, geralmente, ocorrem no nascer e pôr-do-sol, devido aos pequenos valores obtidos dos gradientes de temperatura e pressão atual de vapor d'água, que resultam em

grandes erros na razão de Bowen ($\beta \rightarrow -1$ ou $LE \rightarrow \infty$). As limitações podem ocorrer, também, com culturas de cobertura não uniforme e sobre condições de advecção, comumente verificada em regiões semi-áridas.

De acordo com Heilman et al. (1989) ao contrário de outras técnicas utilizadas para estimar a evapotranspiração de uma determinada cultura, o método BERB não necessita de informações sobre a velocidade do vento nem de propriedades aerodinâmicas da superfície do solo, visto que os fluxos são independentes da estabilidade do ar atmosférico, quando é considerada a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água.

Cunha et al. (1996) utilizaram o balanço de energia baseado na razão de Bowen, para determinar os valores dos componentes do balanço de energia para alguns dias do ciclo de desenvolvimento de uma cultura de milho, cv. SAVE 342. De acordo com os autores, o saldo de radiação foi utilizado em proporções médias para o ciclo de desenvolvimento, em 80% na forma de fluxo de calor latente (LE), 14% na forma de fluxo de calor sensível (H) e 6% na forma de fluxo de calor no solo (G).

Segundo Pereira et al. (1997) o balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Em condições atmosféricas normais, o suprimento principal de energia para a superfície é dado pela radiação solar. O saldo de radiação é, então, utilizado pela superfície nos processos de evaporação (LE, calor latente), aquecimento do ar (H, calor sensível), do solo (G, calor sensível) e das plantas (P, calor sensível), e na fotossíntese (F, fotoquímica).

Ávila Neto (1997) conduziu um experimento de campo no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATSA/Embrapa) localizado no município de Petrolina-PE, objetivando determinar as necessidades hídricas da Videira Européia (*Vitis Vinifera* L.), variedade Itália. Para atingir seu objetivo, utilizou os métodos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia baseado na razão de Bowen para medir e estimar, respectivamente, a evapotranspiração da videira, e o método de Penman (1948) para estimar a evapotranspiração de referência. Após a análise dos dados e resultados obtidos, para as condições em que foi realizado o experimento de campo, observou que o método BERB pode ser utilizado para determinar a evapotranspiração da

videira, desde que sejam atendidas algumas condições: (i) que a acumulação de calor na cobertura vegetal seja omitida; (ii) que a energia empregada no processo bioquímico seja desprezada; (iii) e que não ocorra advecção, pois esse método assume que a divergência horizontal de calor sensível e latente, entre os níveis de medida, é nula.

Alves (1997) utilizou o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen para estimar a evapotranspiração do melão (*Cucumis melo* L.). A autora verificou que os componentes do balanço de energia foram bastante afetados pelo estresse hídrico da cultura. A energia utilizada na evapotranspiração excedeu consideravelmente o saldo de radiação. Os valores encontrados de LE superaram, em média, os valores de Rn em 7,3%. Já os fluxos de calor sensível do ar (H) e do solo (G) representaram 11 e 4% do saldo de radiação, respectivamente.

Oliveira (1998) aplicou o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen para estimar a evapotranspiração do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). De acordo com a autora, o saldo de radiação foi repartido entre os fluxos de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G), segundo os percentuais: 83,2; 6,8 e 10%, respectivamente.

Perez et al. (1999) analisaram os erros associados ao método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, com o intuito de estimar os valores reais da razão de Bowen (β) e das densidades dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H). De acordo com os autores, se o termo de advecção for considerado desprezível, o método é apto para estimar corretamente a partição da energia disponível entre os fluxos de calor sensível e latente; porém, a precisão desse valor estimado dependerá da precisão dos valores obtidos para a razão de Bowen.

Lopes (1999) conduziu um experimento de campo no Perímetro Irrigado de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizada no município de Petrolina-PE, visando à determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras irrigada (*Mangifera indica*, L.), variedade "Tommy Atkins", no período de julho a dezembro de 1998. Para atingir seu objetivo, aplicou os métodos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia baseado na razão de Bowen para medir e estimar, respectivamente, a evapotranspiração do pomar de mangueiras. Baseado nos resultados obtidos para as condições do experimento de campo, o autor concluiu que o fluxo de calor no

solo representou uma pequena fração do saldo de radiação, da ordem de 7%; o fluxo de vapor d'água representou uma parcela significativa da energia disponível com valores maiores que 80%.

Burba et al. (1999) utilizaram o balanço de energia baseado na razão de Bowen para estimar as densidades de fluxo de calor latente e sensível de gramíneas (*Pharagmites australis*) no Estado de Nebraska, EUA. Os autores observaram que no decurso do ciclo fenológico da cultura 80 a 90% do saldo de radiação foi utilizado pela densidade de fluxo de calor latente (LE), enquanto que a densidade de fluxo de calor sensível (H) consumiu apenas 5 a 10% de R_n .

Silva (2000) conduziu um experimento de campo no Perímetro Irrigado de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizada no município de Petrolina-PE, visando à determinação das necessidades hídricas da mangueira irrigada (*Mangifera indica*, L.), variedade "Tommy Atkins", nos anos de 1998 e 1999, respectivamente. Para atingir seu objetivo, aplicou os métodos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia baseado na razão de Bowen para medir e estimar, respectivamente, a evapotranspiração do pomar de mangueiras, e o método da FAO - Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência. Após a análise dos dados e resultados obtidos durante o experimento realizado no ano de 1998, para as condições em que foi realizado o experimento de campo, observou que o valor médio da evapotranspiração do pomar de mangueiras, obtido a partir do método BERB foi de 4,4 mm/dia, com máximos de 5,5 mm/dia no estágio de formação de frutos. Segundo o autor, o método do balanço hídrico no solo sobreestimou, em média, o BERB, em 4,3%, porém esse resultado deve ser visto com cautela devido ao reduzido número de BERB utilizado na determinação da média do período estudado. Porém, de acordo com os dados de 1999, a evapotranspiração diária média foi de 4,3 mm/dia e o BERB, sobreestimou o método do balanço hídrico no solo em aproximadamente 4,7%. Ainda de acordo com o autor, a partição do saldo de radiação entre os demais componentes do balanço de energia durante o ano de 1999 foi de 83,37% para a densidade de fluxo de calor latente (LE), 11,40% para a densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H) e 5,66% para a densidade de fluxo de calor sensível para o solo (G). Já em 1998, a partição do saldo de radiação com os outros componentes do balanço de energia foi a seguinte: 77,68% para LE, 18,01 para H e 4,36% para G.

Todd et al. (2000) compararam o fluxo de calor latente estimado através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen com medidas de lisímetro em uma superfície vegetada com alfafa (*Medicago sativa L.*) em condições irrigadas. No decorso do experimento de campo, foram utilizados dois lisímetros de pesagem e dois sistemas de razão de Bowen. Durante o dia, os autores observaram diferenças da ordem de 5-15% entre os lisímetros, e de 24 - 45% durante a noite. As diferenças observadas nos dois sistemas da razão de Bowen foram menores, cerca de 8%, quando os mesmos foram colocados no mesmo local e mesma altura; porém, esta diferença aumentou quando os sensores foram colocados em um mesmo local e em diferentes alturas, ou quando a altura do sensor era a mesma em diferentes locais do campo experimental. Comparando os dois métodos, verificaram grandes diferenças nos valores dos fluxos de calor latente, principalmente no primeiro e segundo corte, diminuindo durante os três cortes seguintes. Essas diferenças foram observadas quando a razão de Bowen foi negativa, condição esta, observada em dias quentes, secos e ventilados, ou quando a densidade de fluxo de calor latente foi maior que a energia disponível.

Conforme Miranda & Pires (2001) a energia disponível no ambiente é distribuída entre os processos de aquecimento do ar e das plantas (H), de aquecimento do solo (G) e de evapotranspiração (LE). Assim, sempre que uma superfície vegetada estiver bem suprida de água, a maior parte de energia disponível será utilizada no processo de evapotranspiração, o que representa de 70 a 80% de R_n , sendo o restante distribuído entre o aquecimento das plantas, do ar e do solo. Tal relação ($0,7 \leq R_n \leq 0,8$) é válida para área com elevada disponibilidade de água no solo e sem efeito da advecção de calor sensível de áreas adjacentes. No caso de áreas onde há advecção de calor sensível, a relação LE/ R_n passa dos valores mencionados acima, podendo facilmente superar a unidade, como observado por Alves et al. (1998), em cultivo de melão irrigado, em que LE/ R_n chegou a 1,82. Por outro lado, em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo, a fração de R_n destinada à evapotranspiração diminui, aumentando a fração de energia destinada aos processos de aquecimento das plantas, do ar e do solo. De acordo com esses autores, observa-se que na área seca, onde há baixa disponibilidade de água no solo, grande parte de R_n é destinada para H, sendo LE muito pequeno. Nessa situação, a relação LE/ R_n é muito menor do que 0,75 e a

evapotranspiração que ocorre é condicionada pelos elementos meteorológicos e pela umidade do solo.

Moura (2001) conduziu um experimento de campo no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, localizado à margem esquerda do Rio São Francisco, visando à determinação do consumo hídrico da goiabeira irrigada (*Psidium guajara* L.), variedade "Paluma". Para atingir seu objetivo, utilizou o método BERB na estimativa da evapotranspiração da goiabeira, e o método de FAO - Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência. Após a análise dos dados e resultados obtidos durante o experimento de campo, observou que o valor da evapotranspiração do pomar de goiabeiras, obtidos a partir do método do BERB, foi bastante variável ao longo do ciclo fenológico da cultura, atingindo um mínimo de 2,90 mm/dia, na Fase inicial (F1), e um máximo de 6,33 mm/dia durante a maturação.

2.7 - Análise de crescimento

A análise de crescimento é uma técnica utilizada para quantificar os vários parâmetros que expressam o crescimento da planta. Ela foi desenvolvida pelos fitofisiólogos da escola inglesa (Blackman, 1919; Briggs et al., 1920; Watson, 1952; Blackman, 1968) e é considerada internacionalmente como o método-padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária, das comunidades vegetais. É um método que descreve as condições morfofisiológicas das plantas em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avariada através da acumulação de matéria seca (Magalhães, 1979).

A análise de crescimento tem sido utilizada por diversos pesquisadores, principalmente aqueles que estudam diferenças no crescimento de ordem genética ou resultados de modificações ambientais. O uso é apropriado, quando são considerados os conceitos básicos da análise de crescimento e os critérios essenciais para obtenção dos dados. Nem sempre o pesquisador está atento ou tem pleno conhecimento da importância desses aspectos. Por outro lado, ainda que sejam considerados os aspectos acima, a interpretação dos resultados é uma tarefa bastante difícil. A dificuldade se baseia, fundamentalmente, em um fato frequentemente desconhecido por muito: o crescimento de uma planta ou comunidade de

plantas resulta das interações de mecanismos físicos e bioquímicos bastantes complexos, a maioria dos quais desconhecidos. Assim, muitas vezes, o pesquisador se vê diante de situações difíceis de serem explicadas porque foge à lógica estabelecida por ele (pesquisador), a qual nem sempre coincide com a “lógica” da própria planta em estudo. Independente das dificuldades inerentes à nossa própria ignorância sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (Benincasa, 1988).

Beltrão & Cavalcanti (1989) conduziram vários experimentos envolvendo aspectos de manejo cultural, como: espaçamento, configuração de plantio e análise de crescimento. Verificaram que nos primeiros 40 dias, o crescimento de fitomassa total foi lento, atingindo a fase de rápido crescimento dos 45 aos 75 dias e paralisando próximo dos 90 dias da emergência das plantas. Os autores observaram que a taxa média de crescimento alcançou o valor máximo de $2,94 \text{ g.dia}^{-1}$ no período de 60 a 75 dias da emergência das plantas, enquanto a taxa de crescimento da cultura atingiu os valores de $20,61$ a $22,87 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ nos períodos de 45 a 60 dias e de 60 a 75 dias da emergência, respectivamente, reduzindo-se para somente $2,25 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no período de 75 a 90 dias da emergência das plantas. Com relação à área foliar de planta, verificaram que o máximo foi observado aos 75 dias da emergência, com valor de $0,71 \text{ m}^2.\text{planta}^{-1}$, com um índice de área foliar máximo de 5,53. As plantas do algodoeiro herbáceo, CNPA precoce 1, atingiram o máximo de altura (83,0 cm), aos 75 dias da emergência.

Beltrão et al. (1990) objetivando verificar o comportamento do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, nas condições edafoclimática do sertão paraibano, no que se refere aos padrões de crescimento e desenvolvimento, conduziram um experimento de campo no município de Sousa, PB, em 1986, e repetiram em 1987. No primeiro ano com precipitações irregulares e solos não adubados, aquele genótipo apresentou área foliar ($0,29 \text{ m}^2.\text{planta}^{-1}$) e altura máxima (61,3 cm), aos 60 e 75 dias após semeadura, respectivamente, bem como produtividade de caroço de 1.377 kg/ha. Em 1987, com chuvas mais regulares e solo fertilizados, as plantas atingiram área foliar ($0,71 \text{ m}^2.\text{planta}^{-1}$), fitomassa seca ($98,2 \text{ g.planta}^{-1}$) e índice de área foliar (5,5) máximo, aos 75, 90 e 75 dias após semeadura, respectivamente, e produtividade de caroço de 2.455 kg/ha.

Para Silva (1995) a análise matemática dos parâmetros morfofisiológicos da planta pode ser feita através de duas metodologias: a clássica e a funcional. A metodologia clássica permite uma estimativa de valores médios, no intervalo entre duas amostragens, para permitir a comparação entre cultivares e os diversos tratamentos. Na metodologia funcional, modelo matemático é ajustado aos dados de matéria seca e área foliar, em função do tempo.

Silva et al. (1998) utilizaram a análise de crescimento objetivando quantificar os efeitos provocados pelo déficit hídrico em variáveis fenológicas e características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H. Os autores observaram que a altura máxima medida das plantas pertencentes ao tratamento não estressado foi de aproximadamente 93,0 cm, embora a média das 20 plantas tenha se situado em torno de 76,0 cm a partir do completo crescimento da cultura, verificado aos 86 dias após semeadura. No tratamento estressado, a altura média das plantas situou-se em torno dos 70,0 cm, observado aos 72,0 DAS. Essa diferença observada entre as alturas de plantas dos tratamentos, pode ser atribuída, principalmente, ao fator água. A fitomassa verde alcançou cerca de 520,0 g no TNE e 270,0 g no TE, verificados aos 93 e 100 DAS, respectivamente. As dispersões observadas podem ser resultado da sistemática adotada para a escolha do material. A fitomassa seca atingiu valor máximo aos 93 DAS, de aproximadamente 120,0 g para TNE e de 79,7 g para TE.

Nóbrega et al. (2001) avaliaram através de análise de crescimento, os efeitos da irrigação com água de esgoto sanitário, tratado em tanques sépticos e água de abastecimento no crescimento do algodoeiro, cultivar BRS 187 8H. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Estação experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitário (PROSAB), da Universidade Estadual da Paraíba. De acordo com os autores, o acúmulo de fitomassa nos primeiros dias após semeadura até os 40 dias, foi lento nos dois tratamentos T1 e T2, com valores médios em torno de 3,0 e 2,0 g.planta⁻¹, respectivamente. A fase de maior acúmulo foi atingida no período entre 60 e 90 dias, paralisando e decrescendo próximo aos 120 dias após semeadura, atingindo valores de 120 e 32,0 g.planta⁻¹, nos respectivos tratamentos. O elevado valor da fitomassa no tratamento T1 pode ser atribuído a uma grande concentração de micronutrientes na água de esgoto que foram absorvidos pelas plantas. As áreas foliares apresentaram valores máximos de 0,5 e 0,2 m².planta⁻¹, aos 120 DAS. Esse resultado pode ser perfeitamente justificado pelo fato de que o ciclo das culturas irrigadas

pode apresentar-se mais longo, alterando as fases fenológicas. As taxas de assimilação líquida atingiram os maiores valores, durante o período vegetativo. De acordo com os autores, esses resultados representam o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e o perdido através da respiração, expressando a eficiência das folhas na produção de matéria seca e possibilitando estimativa da fotossíntese líquida. Assim, as diferenças na TAL entre os tratamentos, indicam que o tratamento irrigado com água de esgoto tratada houve uma proporcional elevação da fotossíntese líquida, em função, principalmente, do aumento da área foliar. Este aumento implica em uma maior interceptação de energia luminosa, com maior assimilação de carbono, provavelmente, a uma maior absorção de nutrientes disponível na água.

2.7.1- Análise de crescimento destrutiva

Este método, apesar de ser relativamente fácil a obtenção dos valores primários necessários para se estimar as características do crescimento, como taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), entre outras, apresenta um grande inconveniência, pois é necessário que as plantas sejam sacrificadas (mortas), em cada fase da análise, uma vez que os valores primários são a massa seca e área foliar (Silva, 2000).

O fundamento da análise clássica do crescimento é a medida sequencial da acumulação de matéria orgânica e sua determinação é feita, normalmente, considerando o peso seco da planta ou grupos de plantas. Devido ao fato deste procedimento ser destrutivo, as plantas tomadas como amostra, a cada tempo, devem representar a população em estudo, a fim de que técnicas estatísticas apropriadas possam ser utilizadas. Via de regra, além das determinações de peso seco, as áreas foliares são também calculadas (Magalhães, 1979).

2.8 - Características intrínsecas da fibra do algodão

Existem, na natureza, diversas plantas têxteis de valor considerável para a produção de fibras, fios, malhas, tecidos e confecções; no entanto, no universo dessas plantas, o algodão se destaca em razão dos méritos indiscutíveis de sua fibra. O Brasil já possui o

maior parque têxtil da América Latina e, desde muito tempo, utiliza tecnologias de ponta nas indústrias e nos processos de fiação. Neste aspecto, torna-se indispensável que o algodão produzido no Brasil atenda as novas exigências da indústria têxtil nacional, quais sejam: comprimento comercial da fibra na faixa de 30/34 mm; uniformidade 45/46%, finura 3,4/4,2 $\mu\text{g}/\text{in}$, resistência $> 26 \text{ gf}/\text{tex}$, alongamento $> 7,0\%$, índice de fibras curtas $< 3,5\%$, índice de fiabilidade 2000/2500, grau de amarelamento (+b) $< 10,0$ e refletância (Rd) $> 70\%$.

Santana et al. (2001) estudaram dez características da fibra de doze genótipos de algodoeiro herbáceo (CNPA 7H, CNPA ITA 96, BRS Antares, EPAMIG Precoce 1, IAC 96-280, IAC 96-319, OCEPAR 94-550, OCEPAR 96-277, DP 4025, DP 4049, Delta Opal e Deltapine Acala 90) durante um experimento de campo realizado em Caruaru-PE, em 1999. Após o beneficiamento das amostras-padrão em máquinas de rolo, as amostras de pluma foram climatizadas por 24 horas, no Laboratório de Tecnologia de Fibras e Fios da Embrapa Algodão. Em seguida, foram feitas as análises das onze características intrínsecas da fibra (comprimento, uniformidade de comprimento, finura, resistência, alongamento, índice de fibras curtas, fiabilidade, grau de amarelamento, grau de refletância e classe de cor) a partir do equipamento HVI (High Volume Instruments). Levando em consideração as onze características físicas da fibra das seis linhagens e seis cultivares de algodão herbáceo, os autores constataram que a cultivar BRS Antares e a linhagem DP 4049, apresentaram fibras de comprimento comercial médio, ou seja, 30/32 mm e os demais materiais fibras na categoria longa, variação de 32/34 mm e 34/36 mm, todas com fibras muito uniformes e índice variando de 84,1% a 86,2%. À exceção da cultivar Deltapine Acala 90 e linhagens OCEPAR 96-276, DP 4025 e DP 4049 que têm fibras na categoria fina, ou seja, variação de 3,7 $\mu\text{g}/\text{in}$, os demais materiais têm fibras na categoria média, isto é, variação de 4,0 $\mu\text{g}/\text{in}$ (EPAMIG Precoce 1) a 4,4 $\mu\text{g}/\text{in}$ (CNPA ITA 96, IAC 96-280). Com relação a resistência da fibra, verifica-se que, com exceção d cultivar BRS Antares, que apresentou fraca resistência, 26,0 gf/tex , os outros materiais possuem fibra variando de média resistência a forte (Deltapine Acala 90 com 31,7 gf/tex e Delta Opal com 32,2 gf/tex). À exceção da Deltapine Acala 90, que apresentou fibra de coloração ligeiramente amarelada, ou seja, classe de cor 12, os demais materiais têm fibra de coloração creme, classe de cores 13 e 23. As onze linhagens e cultivares avaliados possuem

fiabilidade na categoria média, em razão dos índices médios de fiabilidade variarem de 2034 BRS Antares a 2182 OCEPAR 96-276.

Sabino et al. (2001) conduziram vinte experimentos com o algodoeiro, para avaliar o efeito do ambiente e de parâmetros climáticos sobre propriedades da fibra de três cultivares. De acordo com os autores, os cultivares não se comportaram de forma semelhante, quando submetidas às mesmas condições de cultivo e que a influência do ambiente nas características tecnológicas da fibra do algodoeiro foi maior que a do cultivar. Ainda, conforme os autores, as variações de uniformidade de comprimento para a IAC 96/319 e IAC 23, tenacidade da fibra para a IAC 96/319 e IAC 23, índice Micronaire para a IAC 22, maturidade para a IAC 22 e principalmente o CSP para os cultivares IAC 22 e IAC 96/319, foram devidas as variações ocorridas com os diversos parâmetros climáticos.

Luz et al. (1997) administraram um experimento de campo em Ipanguaçu-RN, no intuito de estudarem o efeito da deficiência hídrica imposta à cultura do algodoeiro herbáceo. Os tratamentos foram constituídos pelo suprimento hídrico com base nos 50% de umidade disponível no solo (UD) durante todo o ciclo da cultura (Testemunha – T₁) e pela imposição de deficiência hídrica nas diferentes fases do seu ciclo (T₂ e T₃). Pelos resultados obtidos, os autores constataram que a deficiência hídrica provocou redução no rendimento da cultura, tendo esta sido mais drástica nos tratamentos em que o estresse foi imposto na fase de floração/frutificação (T₄ e T₅). Constataram, ainda, que esta deficiência não afetou, regra geral, a qualidade da fibra, cujo padrão está de acordo com o exigido pela indústria têxtil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 -Material

3.1.1 - Localização da área experimental

O experimento de campo foi conduzido em uma área de aproximadamente 10.000 m², denominada de lote 10a, pertencente ao Campo Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa - Algodão), localizada no município de Barbalha - CE, com coordenadas geográficas: Latitude: 07°19'S, Longitude: 39°18'W e Altitude: 408,07m, durante os períodos de agosto a dezembro de 2001 e 2002, respectivamente.



Figura 3.1 - Localização aproximada do município de Barbalha – CE

3.1.2 - Clima

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima da região de Barbalha – CE, é do tipo $C_1S_2A'a'$. Isto significa dizer que, trata-se de um clima seco, com pequeno excesso hídrico no inverno, megatérmico, e com vegetação durante todo o ano.

Tabela 3.1 - Balanço hídrico climatológico do município de Barbalha – CE, segundo Thornthwaite e Mather (1955), obtido a partir das normais climatológicas (1961 – 1990).

BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITE E MATHER (1955)									
Local: Barbalha–CE Lat. 7,19S Long.39,18W Altitude: 408,07 m CAD = 100 mm									
Meses	T (°C)	P (mm)	ET_o (mm)	P-ET_o (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)
Jan	25,5	175,2	128,0	47,0	47,0	47,0	128,0	0,0	0,0
Fev	24,8	191,4	104,0	87,0	100,0	53,0	104,0	35,0	0,0
Mar	24,5	234,3	109,0	125,0	100,0	0,0	109,0	125,0	0,0
Abr	24,5	209,8	104,0	106,0	100,0	0,0	104,0	106,0	0,0
Mai	24,1	48,1	100,0	-52,0	60,0	-40,0	88,0	0,0	12,0
Jun	23,8	20,8	92,0	-71,0	29,0	-31,0	52,0	0,0	40,0
Jul	23,8	11,5	96,0	-85,0	13,0	-16,0	28,0	0,0	68,0
Ago	24,9	5,6	112,0	-106,0	4,0	-9,0	15,0	0,0	97,0
Set	26,2	5,2	131,0	-126,0	1,0	-3,0	8,0	0,0	123,0
Out	26,7	2,5	146,0	-144,0	0,0	-1,0	4,0	0,0	142,0
Nov	26,8	4,8	143,0	-138,0	0,0	0,0	5,0	0,0	138,0
Dez	26,3	92,2	142,0	-50,0	0,0	0,0	92,0	0,0	50,0
ANO	25,2	1.001	1.407,0	-406,0	454,0	0,0	736,0	266,0	670,0

A partir da Tabela 3.1, observa-se que as temperaturas médias mensais variaram de 23,8 a 26,8 °C, atingindo valor mínimo e máximo nos meses de junho e novembro, respectivamente. Percebe-se, também, que as precipitações médias mensais variaram de 2,5 a 234,3 mm, alcançando valor mínimo e máximo nos meses de outubro e março, respectivamente. Ainda de acordo com a Tabela 3.1, a ET_o segundo o método de Thornthwaite e mather (1955), varia de 92,0 mm/mês em junho, a 146,0 mm/mês, em outubro, com médias anuais da ordem de 1.001,0 mm.

3.1.3 - Solo da área experimental

A classificação textural do solo da área experimental foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande - PB, a partir das amostras retiradas no campo de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 - 60 cm.

Tabela 3.2 – Características físico-hídricas do solo da área experimental.

Características Físico-hídricas		Profundidade (cm)		
		0 – 20	20 – 40	40 – 60
Granulometria (%)	Areia	39,01	31,49	24,95
	Silte	14,89	18,07	18,13
	Argila	46,10	50,44	56,92
Classificação Textural		Argila	Argila	Argila
Densidade Aparente (g.cm ⁻³)		1,33	1,36	1,36
Densidade Real (g.cm ⁻³)		2,65	2,65	2,65
Umidade Volumétrica (%)	00,33 atm	21,89	24,57	26,92
	15,00 atm	10,88	14,05	15,64

A partir dos resultados obtidos das análises do solo da área experimental, foi possível classificá-lo, do ponto de vista da textura, como sendo *argiloso*. Neste tipo de solo, os torrões mostram-se duros quando secos e, quando molhados, se apresentam plásticos, podendo ser manuseados sem se romper. Ele contém, em média, 51,15% de argila, 31,80% de areia e a diferença em limo.

3.1.3.1- Preparo do solo e sulcamento

A preparação do solo da área experimental foi realizada no início do mês de agosto de cada um dos anos em que ocorreram os experimentos de campo. Inicialmente, o solo foi cortado com um arado de aivecas com tração mecânica, a uma profundidade de 20 cm. Em seguida, foi submetido a duas gradagens, com uma grade leve, também a tração mecânica. Os sulcos do plantio foram feitos com um sulcador do tipo bico-de-papo, com tração mecânica e com a ajuda de enxadas.

3.1.3.2 - Adubação

Por ocasião do plantio, foram realizadas duas adubações: a primeira foi à adubação de fundação à base de 15 - 50 - 20 Kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, aplicados sob a forma de sulfato de amônio, superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. A segunda foi a adubação de cobertura, ocorrida aos 30 e 45 dias após emergência, em dosagens de 30 Kg.ha⁻¹ de N, sob a forma de uréia.

3.1.4 - Cultura

A cultura pesquisada foi o Algodão Herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.), cultivar BRS 201, que é oriunda do cruzamento dialético parcial, entre um grupo de seis cultivares e outro de 15. A população F1 foi conduzida até a geração F4, sob autofecundação, quando se iniciaram as seleções visando produtividade e resistência às doenças, resultando na linhagem selecionada em 1996, denominada CNPA 96 - 12, que deu origem a BRS 201.

O ciclo vegetativo do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, dura em média, 135 dias, podendo ser considerada, em termos de precocidade, de ciclo médio. Os primeiros capulhos abrem-se, em geral, aos 110 dias. O porte da planta situa-se, em média, em torno de 1,0 m, nas condições em que foram realizados os experimentos de campo na região Nordeste. A cor da flor e do pólen é amarela e as folhas das plantas são do tipo palmado.

Essa cultivar apresenta resistência à bacteriose, viroses, tolerância a ramularia e *Stemphylium*, além de suscetibilidade a alternaria. No tocante a ramulose, esta cultivar se mostra moderadamente resistente, podendo apresentar a doença em condições de alto potencial de inóculo e condições favoráveis (Costa, 2001).



Figura 3.2 – Capulhos do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201

3.1.4.1 - Semeadura

O bom estabelecimento da cultura é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento. Um dos fatores para que se obtenha alta produtividade de algodão é a obtenção de uma cultura uniforme, evitando competição entre as plantas. Para isso, além de se utilizar sementes de qualidade, é fundamental a observância de uma profundidade adequada de semeadura. Utilizando-se o sistema de fileira dupla (1,80m x 0,40m x 0,20m), o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi semeado de forma manual em 09.08.2002. Em média, foram enterradas entre quatro e cinco sementes por cova, a uma profundidade de aproximadamente, quatro centímetros.

3.1.4.2 - Emergência

É desejável que a emergência das plantas, além de uniformes, seja rápida. As plantas de a cultivar BRS 201 emergiram em 17.08.2002, isto é, aproximadamente oito dias após sua semeadura. De acordo Azevedo et al. (1999) em condições normais, ela deve ocorrer entre cinco e dez dias.

3.1.4.3 - Plantas daninhas

Durante os experimentos de campo, realizado no Campo Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – algodão), localizado no município de Barbalha - CE, o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi mantido livre de ervas daninhas, através de capinas ocasionais, realizadas com o uso de enxadas e/ou aplicações de herbicidas, administradas pelos técnicos da Embrapa – Algodão.

3.1.4.4 - Pragas

No dois anos em que ocorreram os experimentos de campo, utilizou-se o M.I.P. (Manejo Integrado de Pragas) no controle de pragas, com as amostragens realizadas a cada cinco dias, a partir da emergência até a colheita. As pragas que mais se destacaram durante os experimentos de campo foram: o bicudo (*Anthonomus grandis Boheman*), o pulgão (*Aphis gossypii* Glover); Curuquerê (*Alabama argillacea* Hub.) e a Spodoptera.

3.1.4.5 - Desbaste

Foi realizado um único desbaste em 13.09.2002, com o intuito de eliminar o excesso de plantas nas fileiras da lavoura e obter a população de plantas desejada, ou seja, dez plantas por metro, perfazendo uma população efetiva de aproximadamente 100.000 plantas por hectare. Para Azevedo et al. (1999) a época mais propícia de se efetuar o raleamento dista de 8-25 dias, após a emergência, com a altura das plantas variando entre 10-15 cm.

3.1.5 - Análise d'água utilizada nas irrigações

A análise d'água utilizada para irrigar a cultura durante os experimentos de campo de 2001 e 2002, respectivamente, foi realizada pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande - PB.

Conforme a Tabela 3.3, a água utilizada na irrigação do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante os experimentos de campo de 2001 e 2002, foi classificada como sendo C₂.

Tabela 3.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação da área experimental, durante os experimentos de campo de 2001 e 2002, respectivamente.

Características físico-químicas	Valor
Condutividade Elétrica - $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C	351
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,74
Cálcio (meq/l)	1,00
Magnésio (meq/l)	0,97
Sódio (meq/l)	0,93
Potássio (meq/l)	0,18
Carbonatos (meq/l)	0,00
Bicarbonatos (meq/l)	2,16
Cloretos (meq/l)	0,87
Sulfatos (meq/l)	Ausência
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	0,94
Classe de Água	C ₂

3.1.5.1 – Irrigação

Durante os dois anos em que ocorreram os experimentos de campo, antes do plantio da cultivar BRS 201, foi efetuada uma irrigação por sulco (80 mm), capaz de levar o solo à capacidade de campo a uma profundidade de 60 cm. Logo após o plantio, a área experimental recebeu pequenas lâminas de irrigação para assegurar ao solo condições de umidade necessária a uma boa germinação das sementes. As demais irrigações aplicadas no lote 10a foram baseadas na evapotranspiração média diária da cultura, medida através de dois lisímetros de drenagem, instalados dentro da área experimental. A última irrigação foi realizada logo após a abertura dos primeiros capulhos, que ocorreu em 21 de novembro de 2002.



Figura 3.3 – Sistema de irrigação utilizado na área experimental

O sistema de irrigação utilizado foi o superficial com sucos abertos no final, com dois sifões plásticos de uma polegada de diâmetro, apresentando vazão média inicial de aproximadamente 0,95 e 0,74 l/s, na entrada e na saída dos sucos, respectivamente, depois sendo reduzida à metade depois de completada a fase de avanço.

As lâminas de reposição d'água, a intervalos de sete dias, em média, foram estimadas com base na equação de infiltração de Kostiakov-Lewis, determinada *in loco*, através do método de entrada e saída de água nos sulcos, usando duas calhas de uma polegada, espaçada quarenta metros uma da outra, em dois eventos de irrigação diferentes.

3.1.6 - Medições, instrumentação utilizada e sua disposição.

Foi montada uma torre micrometeorológica no interior da área experimental, posicionada de forma a possibilitar o monitoramento das medições das variáveis meteorológicas utilizados no método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB), com a finalidade de estimar a evapotranspiração da cultura (ETc). Nela, foram instalados dois piranômetros para medição da radiação solar global (Rs) e refletida pela cultura (Rr) e um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (Rn). Foram

medidos, ainda, em dois níveis, 0,50 m e 1,50 m, as temperaturas do ar em bulbos seco e úmido, através de psicrômetros com termopares de cobre e “constantan” e a velocidade do vento (U) por meio de dois anemômetros Young. Ambos os instrumentos descritos, foram posicionados acima do topo da copa da cultura. Para medir o fluxo de calor no solo (G), foram instalados dois fluxímetros a 0,02 m de profundidade, posicionados entre fileiras. Todos estes sensores descritos foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados.

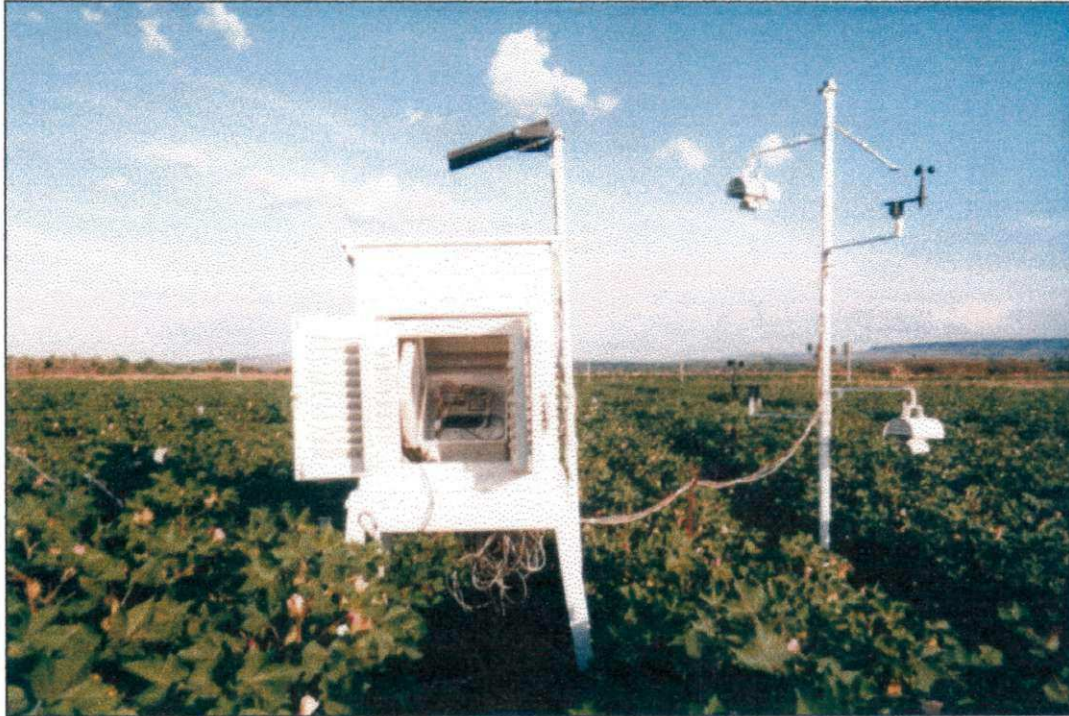


Figura 3.4 - Torre micrometeorológica e abrigo meteorológico instalado no interior da área experimental

3.1.7 - Sistema automático de coleta de dados

Foi utilizado um sistema automático de aquisição de dados (Datalogger 21X) programado para efetuar leituras dos sinais analógicos a cada 5 segundos e armazenar médias em intervalos de 20 minutos, dos sensores instalados na área plantada (Figura 5). Essas médias foram coletadas em um módulo de armazenamento e posteriormente, transferidas para um computador, onde foram processadas em planilhas eletrônicas. O sistema automático de aquisição de dados foi alimentado através de um painel solar de 12 Volts.

O funcionamento dos sensores foi monitorado diariamente como forma de corrigir possíveis interrupções nas leituras. O sistema permaneceu operante durante os períodos de 15 de agosto de 2001 a cinco de janeiro de 2002 e 15 de agosto de 2002 a 15 de dezembro de 2003, desde a situação de solo nu até a primeira colheita.

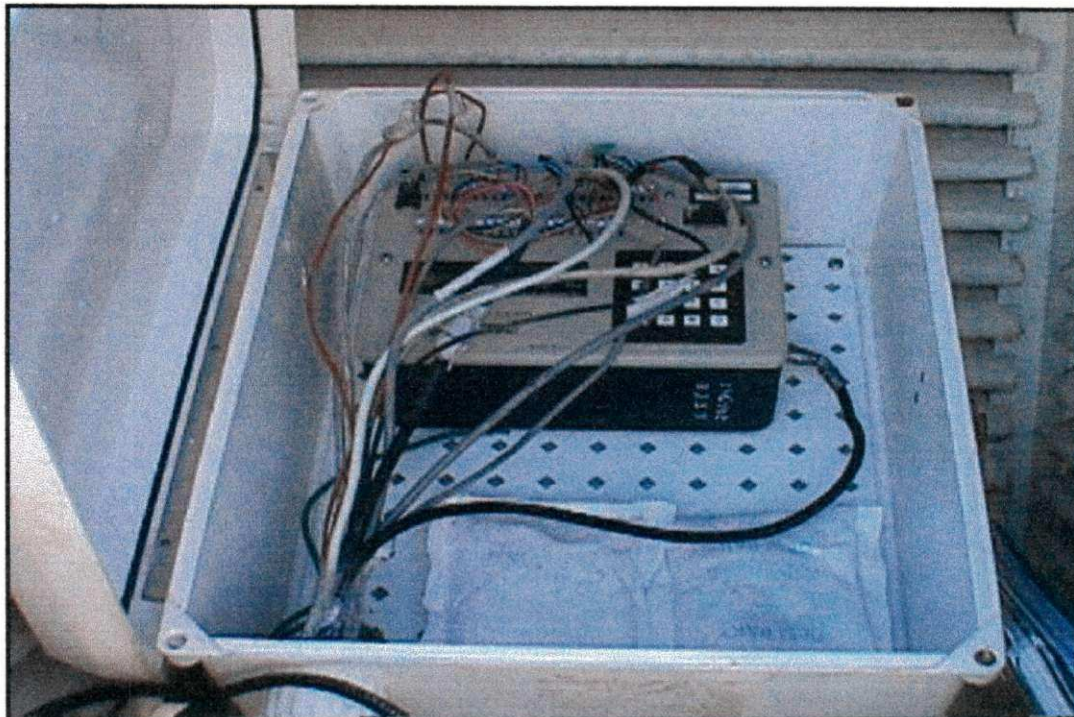


Figura 3.5 – Sistema de aquisição de dados (Datalogger 21X)

3.1.8 - Estação climatológica

Os valores das variáveis meteorológicas: velocidade média diária do vento a 2 m de altura acima da superfície do solo (U_{2m}), temperaturas máxima ($T_{m\acute{a}x}$), mínima ($T_{m\acute{i}n}$) e média ($T_{m\acute{e}d}$) diária do ar, umidade relativa média diária do ar (U_{med}), entre outras, utilizadas na estimativa da evapotranspiração de referência diária (ETo), foram obtidos em uma estação climatológica (Figura 3.6) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situada ao sul da área experimental, cerca de 500 m, equipada com os seguintes instrumentos: Anemógrafo, Anemômetro, Barógrafo, Barômetro de mercúrio, Evaporímetro de Piche, Heliógrafo, Microbarógrafo, Piranógrafo, Piranômetro, Pluviógrafo, Pluviômetro, Psicrômetro, Tanque evaporimétrico “Classe A”, Termógrafo, Termohigrógrafo, Termômetros de máxima e mínima, entre outros.



Figura 3.6 - Estação Climatológica do município de Barbalha – CE, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

3.1.9 - Lisímetros de drenagem

Dois lisímetros de drenagem foram instalados dentro da área experimental, com as seguintes dimensões: 1,5 m de largura, 1,8 m de comprimento e 1,2 m de profundidade (Figura 3.7). No ato da sua instalação, a borda superior ficou a 10 cm acima da superfície do solo. Eles foram completados com solo do local onde foram instalados, mantendo a mesma ordem dos horizontes. Na parte inferior do tanque, foi construído um filtro com 60 cm de espessura, formado de materiais com diferentes granulações. Para a confecção desse filtro, foram empregados, a começar do fundo, camadas superpostas de brita, cascalho, areia grossa e areia fina. Estas camadas têm a finalidade de facilitar a drenagem d'água que irá percolar através do tanque e depois por um cano de PVC que conduzirá a água drenada até um recipiente, localizado na câmara de coleta.

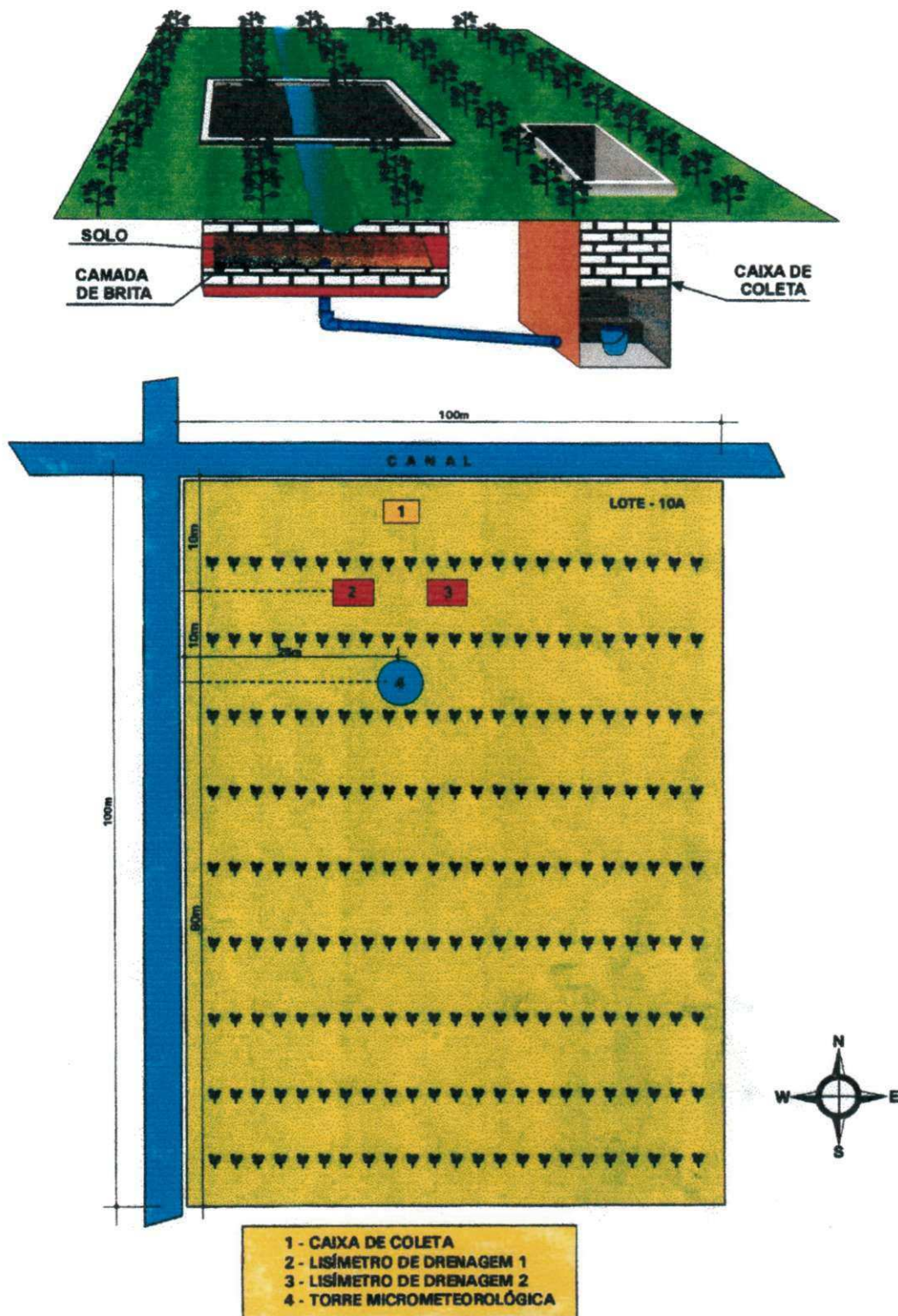


Figura 3.7 - Lisímetro de drenagem e o croqui da área experimental

3.1.10 - Parcelas experimentais

A área experimental, denominada de Lote 10a, mede 100 metros de comprimento por 100 metros de largura, perfazendo um total de 10.000 metros quadrado de área. Nos dois experimentos de campo, que foram realizados durante os anos de 2001 e 2002, respectivamente, o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi plantado em fileira dupla, a partir da seguinte configuração: 1,80 m x 0,40 m x 0,20 m. No interior da área experimental, foi selecionada uma parcela estande, medindo 10 m X 10 m, para o acompanhamento dos parâmetros morfofisiológicos da cultura, bem como, para a quantificação da produção.

3.1.11 - Valores primários

A partir do vigésimo oitavo dia após a semeadura foram realizadas medições semanais de fitomassas verde (FV) e seca (FS), número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (H) e área foliar de plantas (AFP). As medições de altura são resultado da média aritmética da altura de 20 plantas, monitoradas no interior da parcela estande, enquanto que as de fitomassas verde e seca, número de folhas e área foliar, foram provenientes de cinco plantas extraídas fora da parcela estande. Inicialmente, eram feitas as medições de fitomassa verde, por intermédio de uma balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Em seguida, contava-se os número de folhas e mediam-se, os seus respectivos comprimentos, em cada uma das cinco plantas selecionadas. Imediatamente, as plantas eram acondicionadas em sacos de papel e introduzidas em uma estufa de circulação forçada, que devido às circunstâncias, era mantida a uma temperatura de aproximadamente 75°C, até atingirem peso constante. A área foliar foi obtida por meio de um integrador de área foliar, marca LI – 3.300 da LICOR.

3.1.12 - Características do crescimento

A partir dos valores primários, obteve-se as características do crescimento, isto é: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e índice de área foliar (IAF).

3.1.13 - Características tecnológicas da fibra do algodão e produtividade

As características tecnológicas da fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram obtidas a partir da coleta de 20 capulhos, por ocasião da primeira e segunda colheita, em dez parcelas estandes (5 m x 1 m), localizadas no interior da área experimental. As amostras padrão foram acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao Laboratório de Tecnologia de Fibras do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, localizado em Campina Grande - PB. Depois de beneficiada em máquinas de rolo, foram submetidas ao HVI (Instrumento de alto volume), para determinação das características tecnológicas da fibra: quantidade de partículas interpretadas como impurezas (CNT), comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência (STR), alongamento (ELG), índice micronaire (MIC), refletância (Rd), grau de amarelamento (+b) e índice de fiabilidade (CSP), e analisadas de conformidade com o Relatório do Laboratório Tecnológico de Fibras da BM&F (1998). A produtividade foi obtida a partir dos pesos dos capulhos obtidos em cada uma das dez parcelas.

3.2 - Métodos

3.2.1 - Evapotranspiração de referência - (ET₀)

A evapotranspiração de referência foi estimada através dos métodos da FAO – Penman-Monteith e do Tanque Classe A.

3.2.1.1- Método da FAO - Penman-Monteith – (ET₀FPM)

A estimativa da evapotranspiração de referência diária obtida através do método FAO - Penman-Monteith (ET₀FPM), foi realizada tomando-se como base as seguintes considerações: que se trata de uma cultura hipotética, com altura de 12 cm, resistência aerodinâmica da superfície 70 sm⁻¹ e coeficiente de reflexão de 23%. A equação utilizada na determinação dos valores da evapotranspiração de referência diária foi àquela descrita por Allen et al. (1998), ou seja:

$$ET_{0FPM} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T_{med} + 273}\right)U_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_{2m})} \quad (3.1)$$

em que: ET₀FPM é a evapotranspiração de referência diária da cultura (mm); R_n é o saldo de radiação à superfície (MJm⁻²); G é o fluxo de calor no solo (MJm⁻²); T_{med} é a temperatura média diária do ar a 2 metros de altura (°C); U_{2m} é a velocidade média diária do vento a 2 metros de altura acima da superfície do solo (m s⁻¹); e_a é a pressão atual (ou parcial) do vapor d'água (kPa); e_s é a pressão média de saturação do vapor d'água (kPa); (e_s - e_a) é o déficit de saturação (kPa); Δ é a inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água (kPa °C⁻¹); 900 é um fator de conversão e γ é o fator psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Todas as variáveis da equação (3.1) foram estimadas de acordo com Allen et al. (1998), isto é:

$$P_0 = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.2)$$

onde: P_0 e z são, respectivamente, a pressão atmosférica (kPa) e altitude (m) do local.

$$\gamma = \frac{c_p P_0}{L \varepsilon} = 0,665 \times 10^{-3} P_0 \quad (3.3)$$

em que: L é o calor latente de evaporação da água ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ a 20°C), c_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1,003 \times 10^{-3} \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), P_0 é a pressão atmosférica local (kPa) e ε , é a razão entre as massas moleculares de água e do ar seco, igual a 0,622.

$$T_{med} = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \quad (3.4)$$

onde: T_{med} , $T_{máx}$, $T_{mín}$ são, respectivamente, as temperaturas média, máxima e mínima, diária do ar, expressas em $^\circ\text{C}$.

$$e^0(T) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (3.5)$$

em que: $e^0(T)$ é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), T é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e $\exp(\dots)$ é a base do logaritmo natural, igual a 2,7183.

$$e_s = \frac{e^0(T_{máx}) + e^0(T_{mín})}{2} \quad (3.6)$$

onde: e_s é a pressão média de saturação do vapor d'água (kPa).

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{med}}{T_{med} + 237,3}\right) \right]}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (3.7)$$

e

$$e_a = \frac{e_s U R_{med}}{100} \quad (3.8)$$

em que: UR_{med} é a umidade relativa média diária do ar (%).

O saldo de radiação em superfícies vegetadas pode ser medido com um saldo radiômetro ou estimado a partir de relações empíricas, em função de elementos meteorológicos.

$$Rn = BOC - BOL \quad (3.9)$$

onde: BOC é o balanço de ondas curtas ($MJ m^{-2} dia^{-1}$) e BOL é o balanço de ondas longas ($MJ m^{-2} dia^{-1}$).

$$BOC = (1 - \alpha)R_s \quad (3.10)$$

em que: α é o albedo (0,23) e R_s é a irradiância solar global, resultante da soma das irradiâncias direta e difusa, expressa em $MJ m^{-2} dia^{-1}$, que foi medida no interior da área experimental, através de um piranômetro Eppley.

$$BOL = \sigma \left[\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3.11)$$

onde: T_{max} e T_{min} são, respectivamente, as temperaturas máxima e mínima absoluta do ar durante o dia (K), σ é a constante de Stefan Boltzmann ($4,90 \times 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} dia^{-1}$), e_a é a pressão atual do vapor d'água (kPa) e R_{so} é a irradiância solar para dias de céu claro, isto é, quando $n = N$, expressa em $MJ m^{-2} dia^{-1}$. N é o fotoperíodo ou número máximo de horas de brilho solar e n , é o número efetivo de horas de brilho solar (insolação).

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (3.12)$$

onde: R_a é a irradiância solar extraterrestre ($MJ m^{-2} dia^{-1}$) e z é a altitude do local, onde foram realizados os experimentos de campo.

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (3.13)$$

em que: G_{sc} é a constante solar ($0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$), d_r é o inverso da distância relativa Terra-Sol (rad), ω_s é o ângulo horário (rad), ϕ é a latitude (rad) e δ é a declinação solar (rad).

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3.14)$$

onde: J é o número do dia do ano entre 1 (1 de janeiro) e 365 ou 366 (31 de dezembro).

$$\delta = 0,409 \text{ sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (3.15)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan g(\phi) \tan g(\delta)] \quad (3.16)$$

3.2.1.2 - Método do Tanque Classe A – (EToTCA)

A evapotranspiração de referência diária estimada através do método do Tanque Classe A (EToTCA), foi calculada a partir da equação apresentada por Allen et al. (1998), ou seja:

$$EToTCA = Kp \cdot ECA \quad (3.17)$$

em que: ECA é a evaporação medida no Tanque Classe A (mm/dia) e Kp é um fator de correção, denominado de coeficiente do tanque.

A equação utilizada para estimar Kp foi à proposta por Allen et al. (1998), isto é:

$$Kp = 0,61 + 0,00341 \cdot UR_{med} - 0,000162 \cdot U_{2m} \cdot UR_{med} - 0,00000959 \cdot U_{2m} \cdot U_{2m} \cdot B + 0,00327 \cdot U_{2m} \cdot \ln(B) - 0,00289 \cdot U_{2m} \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m}) - 0,0106 \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m}) \cdot \ln(B) + 0,00063 \cdot [\ln(B)^2 \cdot \ln(86,4 \cdot U_{2m})] \quad (3.18)$$

onde: U_{2m} é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$), B é a extensão da bordadura (1 m), UR_{med} é a umidade relativa média diária do ar (%).

3.2.2 - Evapotranspiração da cultura – (ETc)

A evapotranspiração diária da cultura (ETc) foi *medida* com a ajuda de dois lisímetros de drenagem e *estimada* através do método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen.

3.2.2.1 - Balanço de energia baseado na Razão de Bowen – (ETcBERB)

A estimativa da evapotranspiração diária da cultura (ETcBERB) foi feita a partir da equação simplificada do balanço de energia, de acordo com Rosenberg et al. (1983), isto é:

$$Rn = LE + H + G \quad (3.19)$$

em que: Rn é o saldo de radiação; LE é a densidade de fluxo de calor latente; H é a densidade de fluxo de calor sensível para o ar e G é a densidade de fluxo de calor sensível para o solo. Todos os termos da equação (3.19) foram expressos em Wm^{-2} . A energia armazenada no dossel vegetativo e a utilizada nos processos fotossintéticos não foram computadas, visto que representam menos de 3% do saldo de radiação (Heilman et al., 1994).

O balanço de energia, definido através da equação (3.19), foi efetuado assumindo-se que os fluxos descendentes são considerados positivos (Ohmura, 1982).

3.2.2.1.1 - Razão de Bowen - (β)

A razão entre as densidades de calor sensível (H) e latente (LE) foi proposta por Bowen, em 1926, como forma de estudar a partição da energia disponível, isto é:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3.20)$$

Na camada limite superficial, as densidades de fluxo de calor sensível (H) e latente (LE), podem ser obtidas através das seguintes equações:

$$H = -K_h \rho c_p \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.21)$$

e

$$LE = -K_w \rho L \frac{\partial q}{\partial z} \quad (3.22)$$

De acordo com Pereira et al. (1997), a umidade específica do ar (q) pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$q = \frac{0,622e}{P_o - 0,378e} \cong \frac{0,622e}{P_o} \quad (3.23)$$

uma vez que $e \lll P$.

Substituindo a equação (3.23) na equação (3.22) e, em seguida, as equações (3.21) e (3.22) na equação (3.20), tem-se que:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{P_o c_p}{L \varepsilon} \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \quad (3.24)$$

Finalmente, assumindo-se que os coeficientes de transferência turbulenta nos processos de difusão de calor sensível e vapor d'água são aproximadamente iguais, isto é, $k_h \cong k_w$ (Verma et al., 1978) e, considerando-se que $(\partial T / \partial z) / (\partial e / \partial z) \cong \Delta T / \Delta e$, a razão de Bowen pode ser rescrita da seguinte forma:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.25)$$

onde: 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 ($MJ kg^{-1}$); ρ é a

densidade do ar (kg m^{-3}); c_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$); P_0 é a pressão atmosférica média local (kPa); ε é a razão entre as massas moleculares de água e do ar seco (0,622); β 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 atual de vapor d'água, medidas em dois níveis acima da superfície vegetada ($\Delta z = z_2 - z_1$) e γ é o fator psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), obtido através da equação (3.3).

A estimativa da pressão atual do vapor d'água (kPa), realizadas nos dois níveis acima da copa da planta, foi obtida a partir da equação de Ferrel, descrita por Varejão-Silva (2000), ou seja:

$$e(T) = e_s(T_u) - 0,00066(1 + 0,00115T_u)(T_s - T_u)P_0 \quad (3.26)$$

em que: $e(T)$ é a pressão atual (parcial) do vapor d'água (kPa); P_0 é a pressão atmosférica local (kPa); T_s e T_u são, respectivamente, as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e úmido, ambas expressas em $^\circ\text{C}$ e $e_s(T_u)$ é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), que foi calculada a partir da equação (3.5).

Substituindo a equação (3.20) na equação (3.19), obtém-se a expressão para calcular a densidade de fluxo de calor latente em função do saldo de radiação, fluxo de calor sensível no solo e dos gradientes verticais de temperatura e vapor d'água, ou seja:

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (3.27)$$

A densidade de fluxo de calor sensível foi obtida por diferença, isto é:

$$H = Rn - LE - G \quad (3.28)$$

É importante observar que através da equação (3.28) obteve-se apenas os valores da densidade de fluxo de calor latente (LE), que geralmente é expressa em W.m^{-2} . Para obter a evapotranspiração em unidades de lâmina d'água em um dado intervalo de tempo (mm dia^{-1}), dividiu-se o valor obtido através da equação (3.28) pelo calor latente de

vaporização (L) e, integrou-se durante o período em que houver energia disponível, isto é, $R_n - G > 0$.

3.2.2.2 - Lisímetros de drenagem – (ETcL)

A medida da evapotranspiração da cultura (ETcL) foi realizada a partir da equação apresentada por Bernardo (1989), isto é:

$$ET_{cL} = \frac{IR + PP - D}{S} \quad (3.29)$$

onde: ETcL é a evapotranspiração diária da cultura (mm/dia), IR é a irrigação no tanque (litros), PP é a precipitação pluviométrica no tanque (litros), D é a água drenada do tanque (litros) e S é a área da seção transversal do tanque evaporimétrico (2,7 m²).

3.2.3 - Coeficiente de cultivo – (Kc)

O coeficiente de cultivo (Kc) foi determinado para cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, através da relação utilizada por Allen et al. (1998), isto é:

$$Kc_j = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{ET_c}{ET_o} \right)_i / n \right]_j \quad (3.30)$$

onde: j = 1, 2, ..., 4; i = 1, 2, ..., n; (n é o número de dias que cada uma das quatro fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo tem).

3.2.4 - Análise de crescimento destrutiva

3.2.4.1 - Altura de planta – (H)

Semanalmente, foram feitas medições de alturas de 20 plantas, que foram selecionadas aleatoriamente no interior da parcela estande (distância entre a superfície do

solo e a extremidade superior da haste principal) e extraída a sua média aritmética. Essas medições foram iniciadas em 30.08.2002 e finalizadas em 22.11.2002, através de uma régua graduada em centímetros.

3.2.4.2 - Área foliar – (AF)

Existem diferentes métodos para se estimar a área foliar (AF), a maioria, com alto grau de precisão. Nesta pesquisa, utilizou-se um integrador de área foliar, modelo LI – 3.300 da LICOR, que possibilitou a obtenção da seguinte equação de regressão:

$$AF = 7,7387e^{0,231C} \quad (3.31)$$

onde: C e AF são, respectivamente, o comprimento (cm) e a área (cm²) da folha do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. A referida equação de regressão foi utilizada na estimativa da AF, para as ocasiões em que o integrador de área não estava disponível.

3.2.4.3 - Área foliar da planta – (AFP)

A área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201 (AFP), foram estimadas a partir da seguinte equação:

$$AFP = \sum_{i=1}^n AF_i \quad (3.32)$$

em que: AFP é a área foliar da planta (cm²) e n é o número de folhas da planta.

3.2.4.4 – Peso verde – (PV)

No interior da parcela demarcada, foram selecionadas 20 plantas, com o intuito de medir semanalmente, sempre no mesmo dia, sua altura média. Nos dias de medições, eram extraídas cinco plantas, na parte exterior da parcela estande, que tivesse altura próxima ou igual à média dessas vinte plantas selecionadas, para a obtenção de fitomassa verde, por intermédio de balança eletrônica com precisão de 0,01 g.

3.2.4.5 – Peso seco – (PS)

Realizadas as medições de fitomassa verde e contagem de folhas, toda parte aérea da planta era acondicionada em saco de papel e levada a uma estufa com circulação forçada, onde era submetida à temperatura de aproximadamente 75 °C, até atingir peso constante, de modo a assegurar que o peso seco real fosse obtido.

A partir das medidas dos valores primários (altura de planta, fitomassas seca e verde, área foliar) obtidas semanalmente, estimou-se a característica do crescimento, isto é: as taxas de crescimento absoluto (TCA), relativo (TCR), assimilação líquida (TAL) e índice de área foliar (IAF), a partir das equações sugeridas por Benincasa (1988).

3.2.4.6 – Taxa de Crescimento Absoluto – (TCA)

A taxa de crescimento absoluto – TCA (g/dia) ou taxa de crescimento da cultura, representa a variação ou incremento de matéria vegetal entre duas amostragens, realizadas em um dado intervalo de tempo (dia, semana, etc.). Ela pode ser obtida em qualquer fase de desenvolvimento da cultura, através da seguinte equação:

$$TCA = \frac{PS_2 - PS_1}{t_2 - t_1} \quad (3.33)$$

em que: PS_1 - peso da matéria seca no tempo t_1

PS_2 - peso da matéria seca no tempo t_2

3.2.4.7 – Taxa de Crescimento Relativo – (TCR)

Uma medida bastante apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de fitomassa que está sendo acumulada, é a taxa de crescimento relativo – TCR ($g \cdot g^{-1}/semana$). De acordo com Benincasa (1988) ela pode ser calculada através da seguinte equação:

$$TCR = \frac{\ln PS_2 - \ln PS_1}{t_2 - t_1} \quad (3.34)$$

onde: TCR é a taxa de crescimento relativo da cultura, expressa $g.g^{-1}semana^{-1}$.

3.2.4.8 – Taxa de Assimilação líquida – (TAL)

Este termo expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de matéria seca produzida (em gramas), por centímetro quadrado de área foliar. A estimativa de TAL foi feita de acordo com Benincasa (1988), ou seja:

$$TAL = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{t_2 - t_1} \right) \left(\frac{\ln AFP_2 - \ln AFP_1}{AFP_2 - AFP_1} \right) \quad (3.35)$$

TAL – Taxa de Assimilação Líquida ($gcm^{-2}semana^{-1}$);

em que: AFP₁ - Área foliar da planta no tempo t₁;

AFP₂ - Área foliar da planta no tempo t₂.

3.2.4.9 – Índice de área foliar – (IAF)

Conceitualmente, o índice de área foliar é definido como sendo o quociente entre a área foliar da planta (AFP) e a área de solo disponível à planta (ASDP). É, portanto, um índice adimensional.

$$IAF = \frac{AFP}{ASDP} \quad (3.36)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

O ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi dividido em quatro fases (Tabela 4.1), a partir das ocorrências dos principais processos fisiológicos, conforme Rosolem (1999).

Tabela 4.1 - Número de dias que o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, necessitou para realizar os principais processos fisiológicos, em cada uma das fases de desenvolvimento.

Fases de desenvolvimento		Período	Número de dias
I	Semeadura a emergência	221 – 229	09
II	Emergência ao primeiro botão floral	230 – 256	27
III	Primeiro botão floral à primeira flor	257 – 273	17
IV	Primeira flor ao primeiro capulho	274 – 321	48

A partir dos resultados obtidos e apresentados na Tabela 4.1, principalmente no que se refere ao tempo de ocorrência dos principais processos fisiológicos do algodoeiro herbáceo, constatou-se que a cultivar BRS 201 é de ciclo *médio*. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa (2000). Para Barreiro Neto et al. (1983), o número de dias do ciclo vegetativo do algodoeiro utilizado pela planta para ir da emergência-floração foi de 55 dias, do aparecimento botão-flor de 22 dias e de 106 dias da emergência a abertura do capulho, o que caracteriza a cultivar CNPA 78 SME, como de boa precocidade.

As normais climatológicas (1961–1990) e as médias mensais de alguns elementos meteorológicos do município de Barbalha - CE, referente ao período de agosto a novembro de 2002, estão expostos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Normais climatológicas (1961–1990) e as médias mensais da temperatura do ar (T), insolação (h), evaporação do Tanque Classe A (ECA), umidade relativa do ar (UR) e precipitação (P) do município de Barbalha – CE, referente ao período de agosto a novembro de 2002.

Normais Climatológicas (1961–1990)					
Mês	Insolação (h)	T (°C)	ECA (mm)	UR (%)	P (mm)
Janeiro	216,4	25,5	160,0	75	175,2
Fevereiro	191,9	24,8	124,3	83	191,4
Março	198,4	24,5	107,7	83	234,3
Abril	206,1	24,5	100,5	84	209,8
Mai	224,9	24,1	145,8	81	48,1
Junho	240,0	23,8	161,3	72	20,8
Julho	252,4	23,8	224,8	65	11,5
Agosto	281,8	24,9	268,7	59	5,6
Setembro	276,4	26,2	292,8	56	5,2
Outubro	268,9	26,7	262,9	58	2,5
Novembro	256,4	26,8	223,7	60	4,8
Dezembro	234,4	26,3	216,1	64	92,2
2002					
Agosto	308,1	25,6	299,1	49	2,7
Setembro	283,0	26,9	304,1	46	3,5
Outubro	288,4	18,3	310,3	40	4,3
Novembro	285,6	28,4	261,3	16	5,1

Fonte: Departamento Nacional de Meteorologia (1992)

A partir da Tabela 4.2, observa-se que a estação chuvosa do município de Barbalha – Ceará, vai de dezembro a maio do ano em curso, destacando-se o mês de março como o mais chuvoso, com precipitação média de 234,3 mm, enquanto a precipitação média anual do município oscila em torno de 1001,4 mm. Percebe-se, também, que durante o período em que foi realizado o experimento de campo (agosto-novembro), foram registradas as

maiores insolações, temperaturas do ar e evaporações, bem como, as menores umidades relativas do ar e precipitações. Nota-se, também, que em 2002, os valores da temperatura do ar, evaporação e insolação foram, em média, superiores aos da climatologia, enquanto a umidade relativa do ar e o total pluviométrico, inferiores.

4.2 - Evapotranspiração de referência - (ET_o)

A evapotranspiração de referência foi estimada através dos métodos do Tanque Classe A e da FAO – Penman-Monteith.

4.2.1 - ET_o estimada a partir do método Tanque Classe A - (ET_oTCA)

As análises dos valores da evapotranspiração de referência diária, obtidos a partir do método do Tanque Classe A, foram realizadas em duas etapas. Na primeira etapa, as análises foram fundamentadas no poder evaporante do ar (umidade relativa do ar e o vento), enquanto que na segunda, na contribuição do balanço de energia.

Os valores da evapotranspiração de referência diária, estimados a partir do método do Tanque Classe A, estão apresentados na Tabela 4.3, enquanto que as suas variações em função das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estão ilustradas na Figura 4.1.

A partir da Tabela 4.3, observa-se que os valores médios diários do saldo de radiação (R_n), aumentaram no decurso do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, elevando a evaporação (ECA), e conseqüentemente, a evapotranspiração do Tanque Classe A (ET_oTCA). Percebe-se, também, que os valores diários médios do coeficiente do Tanque Classe A (K_p), diminuíram significativamente nesse mesmo período, contribuindo consideravelmente com a redução dos valores da ET_oTCA. Durante o ciclo fenológico da cultura, os valores diários médios da ET_oTCA, oscilaram entre 6,23 a 7,62 mm/dia.

Tabela 4.3 – Valores médios diários do saldo de radiação (R_n), da evaporação (ECA), do coeficiente (K_p) e da evapotranspiração de referência do Tanque Classe A (EToTCA), da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade do vento a dois metros de altura (U_{2m}), referentes a cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Fases de desenvolvimento	R_n (MJm^{-2})	ECA ($mmdia^{-1}$)	UR (%)	U_{2m} (m/s)	K_p	EToTCA ($mmdia^{-1}$)
I	13,50	8,19	51,88	3,05	0,76	6,23
II	15,27	8,91	48,15	2,76	0,75	6,69
III	15,90	10,28	43,06	2,25	0,74	7,64
IV	16,79	10,43	40,06	2,35	0,73	7,62

4.2.2 - ETo estimada a partir do método da FAO – Penman-Monteith - (EToFPM)

O fluxo vertical de vapor d'água para a atmosfera está condicionado pelo saldo de energia disponível, pela velocidade do vento e pelo déficit de saturação reinante na camada de ar justaposta à superfície evaporante. A variação das estimativas da evapotranspiração de referência diária, em função do número de dias Juliano, obtidas através do método FAO - Penman-Monteith, pode ser mais bem compreendida, ao desmembrarmos a equação proposta por Allen et al. (1998), em dois termos: o *energético*, que exprime a contribuição do saldo de energia para a evapotranspiração e o *aerodinâmico*, que traduz a contribuição do próprio ar no processo evapotranspiratório.

Os valores da evapotranspiração de referência diária, estimados através do método de FAO - Penman-Monteith, estão apresentados na Tabela 4.4, enquanto que as suas variações em função das fases do ciclo do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estão ilustradas na Figura 4.1.

Tabela 4.4 – Valores médios diários do fator psicrométrico (γ), da inclinação da curva de pressão de saturação do vapor d'água (Δ), do saldo de radiação à superfície (R_n), da evapotranspiração de referência, obtidos a partir do método da FAO – Penman-Monteith (EToFPM), referentes a cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Fases de desenvolvimento	γ (kPa °C ⁻¹)	Δ (kPa °C ⁻¹)	$e_s - e_a$ (kPa)	R_n (MJ m ⁻²)	EToFPM (mm dia ⁻¹)
I	0,064	0,202	1,74	13,50	5,78
II	0,064	0,208	1,95	15,27	6,14
III	0,064	0,218	2,28	15,90	6,33
IV	0,064	0,231	2,55	16,79	6,76

Através da Tabela 4.4, observa-se que os valores médios diários do saldo de radiação (R_n), aumentaram significativamente durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, contribuindo consideravelmente com a elevação dos valores da evapotranspiração de referência (EToFPM). Percebe-se, também, que durante esse período, ocorreram aumentos significativos nos valores dos termos energético e aerodinâmico, colaborando, também, com a elevação dos valores da EToFPM. No decurso do ciclo fenológico da cultura, os valores diários médios da EToFPM, passaram de 5,78 para 6,76 mm/dia.

4.2.3 - Análise comparativa entre os valores da evapotranspiração de referência estimados a partir dos métodos do Tanque Classe A e FAO - Penman-Monteith.

Os valores da evapotranspiração de referência obtidos através dos métodos Tanque Classe A e FAO – Penman – Monteith, estão apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente, enquanto que as suas variações em função das fases de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estão ilustradas na Figura 4.1.

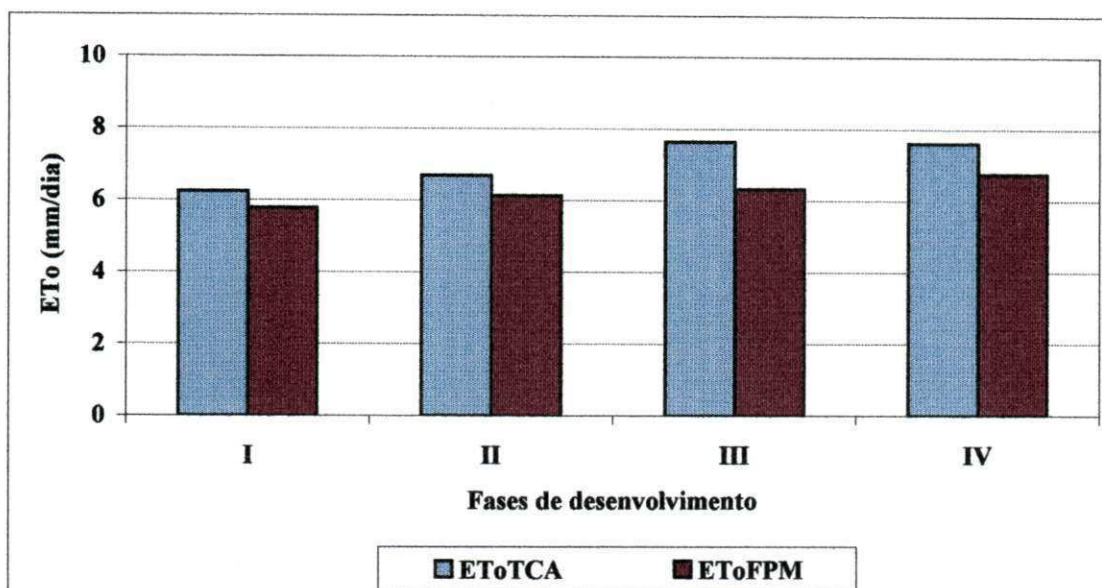


Figura 4.1 – Comportamentos médios diários dos valores da evapotranspiração de referência, estimados a partir dos métodos do Tanque Classe A (ETOTCA) e FAO - Penman-Monteith (ETOFPM), em cada uma das fases de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Na Figura 4.1 estão apresentados os comportamentos dos valores médios diários da evapotranspiração de referência, *por fase*, obtidos a partir dos métodos FAO - Penman-Monteith e do Tanque Classe A. Percebe-se que durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, os valores da ETOTCA e ETOFPM aumentaram significativamente. Observa-se, também, que no decurso do ciclo da cultura os valores da ETOTCA, foram quase sempre, superiores aos de ETOFPM. Essas pequenas diferenças observadas entre ETOTCA e ETOFPM estão associadas com a complexidade de cada um dos métodos, já que a região e a época do ano em que foram realizadas as medições é a mesma. Com relação aos aumentos dos valores da evapotranspiração de referência ao longo do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, eles estão relacionados ao movimento de translação da Terra e é causado exclusivamente pela inclinação do eixo terrestre.

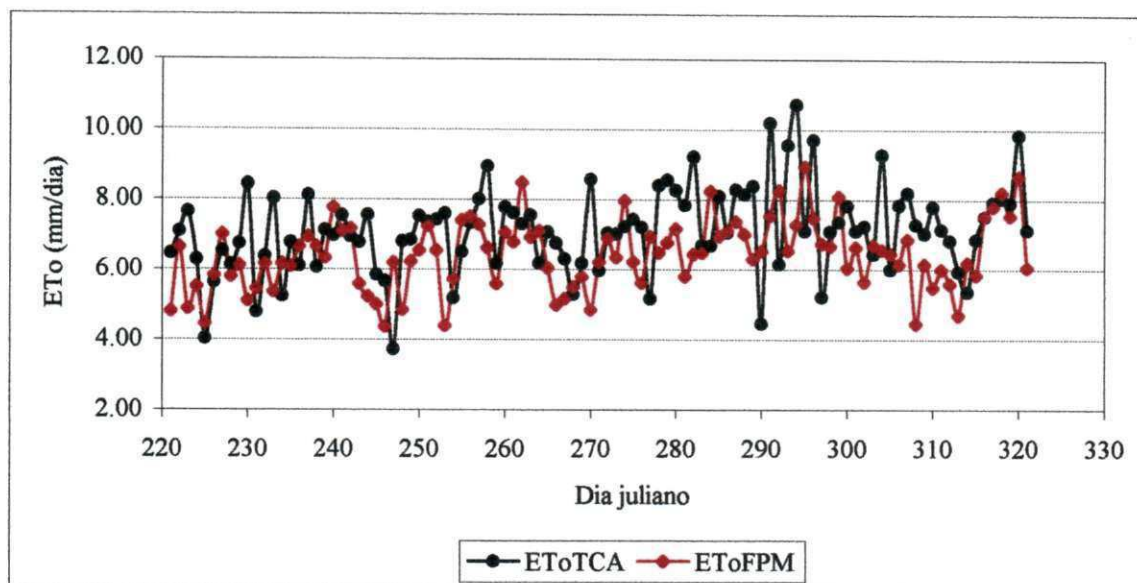


Figura 4.2 – Comportamento da evapotranspiração de referência diária estimada a partir dos métodos FAO - Penman-Monteith (EToFPM) e Tanque Classe A (EToTCA).

Na Figura 4.2 estão apresentados os comportamentos das curvas da evapotranspiração de referência diária, obtidas a partir dos métodos do Tanque Classe A e FAO - Penman-Monteith, durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. Observa-se que ambas as curvas apresentam comportamento oscilantes e crescentes. As oscilações estão associadas a nebulosidade ou insolação, enquanto que os comportamentos crescentes, estão associados com a latitude do local (ϕ) e com a declinação (δ) e o ângulo zenital do Sol. Durante o ciclo fenológico da cultura, a evapotranspiração de referência diária estimada através dos métodos Tanque Classe A e FAO - Penman-Monteith, atingiram os valores médios de 7,12 e 6,42 mm/dia, respectivamente. O valor máximo e mínimo atingido por EToTCA foi de 10,71 e 3,73 mm/dia, respectivamente, observados nos dias 294 e 247. Já EToFPM atingiu o valor máximo e mínimo de 8,95 e 4,37 mm/dia, respectivamente, observados nos dias 295 e 246. Nota-se claramente, que a maior parte dos valores de EToTCA foram superiores aos de EToFPM.

Soares (2003) conduziu um estudo no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, localizada no município de Petrolina-PE, visando determinar o consumo hídrico e o coeficiente de cultura da videira (*Vitis*

vinifera, L.), variedade Festival. Os métodos do balanço hídrico no solo e de energia baseado na razão de Bowen, foram utilizados pelo autor, na estimativa dos valores da evapotranspiração da videira e o método FAO - Penman-Monteith, na estimativa dos valores da evapotranspiração de referência diária. Segundo o autor, os valores da evapotranspiração de referência variaram de 1,63 a 7,48 mm/dia.

Moura (2001) realizou um experimento de campo no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, localizado à margem esquerda do Rio São Francisco, objetivando determinar as necessidades hídricas da goiabeira irrigada (*Psidium guajava*, L.), variedade Paluma, no período de maio a novembro de 2000. As estimativas da evapotranspiração do pomar de goiabeira e de referência foram feitas a partir do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen e FAO - Penman-Monteith, respectivamente. De acordo com a autora, os valores da EToFPM variaram de 4,58 a 8,33 mm/dia.

Silva (2000) determinou as necessidades hídricas e o coeficiente de cultura da mangueira irrigada (*Mangifera indica*, L.), variedade Tommy Atkins, na região do Submédio São Francisco, no período de agosto a dezembro de 1998 e 1999, respectivamente. A parte experimental da pesquisa foi conduzida no perímetro irrigado de Bebedouro, localizado próximo ao município de Petrolina-PE. Os métodos do balanço hídrico no solo e de energia baseado na razão de Bowen, foram utilizados pelo autor, na estimativa dos valores da evapotranspiração do pomar de mangueiras e o método FAO - Penman-Monteith, na estimativa dos valores da evapotranspiração de referência diária. Conforme o autor, os valores de EToFPM variaram de 2,14 a 7,18 mm/dia.

Azevedo et al. (1993), conduziram um experimento com algodoeiro herbáceo irrigado, cultivar CNPA Precoce 1, em Souza, PB, no período de agosto a dezembro de 1990, objetivando o monitoramento da evapotranspiração máxima medida (ET_m) e a potencial de referência (ETo), estimados por métodos climatológicos, dentre eles, o do Tanque Classe A. De acordo com os autores, os valores da EToTCA variaram de 5,93 a 7,09 mm/dia.

4.3 - Evapotranspiração do algodoeiro herbáceo - (ETc)

A evapotranspiração do algodoeiro herbáceo (ETc) foi *medida* com a ajuda de dois lisímetros de drenagem e *estimada* através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

4.3.1 - Lisímetro de drenagem - (ETcL)

Tabela 4.5 - Valores das lâminas de irrigação (LI) e da evapotranspiração média do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201 (ETc), obtidos a partir de dois lisímetro de drenagem.

Data Dia, mês, ano.	DAS	ETc (mm dia⁻¹)	LI (mm)
09.08.2002	00	-	-
12.08.2002	03	1,8	3,6
14.08.2002	05	2,3	8,4
17.08.2002	08	2,8	10,8
21.08.2002	12	3,0	18,0
27.08.2002	18	3,3	23,1
03.09.2002	25	3,5	28,0
11.09.2002	33	3,8	22,8
17.09.2002	39	4,3	30,1
24.09.2002	46	4,5	31,5
01.10.2002	53	4,7	32,9
08.10.2002	60	5,0	35,0
15.10.2002	67	5,3	37,1
22.10.2002	74	5,5	38,5
29.10.2002	81	5,8	40,6
05.11.2002	88	5,5	38,5
12.11.2002	95	5,3	47,7
21.11.2002	104	5,0	35,0

No início de cada um dos experimentos de campo, foi feita uma irrigação no interior do tanque evaporimétrico, a ponto de causar excesso d'água até aparecer no poço de coleta. Em seguida, esperou-se que o solo entrasse em equilíbrio (drenagem cessar), o que

veio ocorrer três dias após a primeira irrigação. Alguns dias depois, foi feita uma segunda irrigação até que a água tornasse a drenar. Com o surgimento dos primeiros pingos, as torneiras foram fechadas e foi iniciado o período de medidas. A evapotranspiração do algodão herbáceo, cultivar BRS 201, foi obtida pela diferença entre as quantidades de água colocada (irrigação e chuva) e percolada (drenagem), dividida pela área do tanque evaporimétrico, conforme metodologia proposta por Bernardo (1989), Reichardt, 1987, Varejão-Silva, 2000, dentre outros.

A partir da Tabela 4.5, observa-se que os valores médios da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos através de lisímetros de drenagem, oscilaram entre 1,8 a 5,8 mm/dia. O valor máximo foi registrado em 29 de outubro de 2002.

4.3.2 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen – (ETcBERB)

O conhecimento das componentes do balanço de energia de uma superfície vegetada é de fundamental importância na obtenção das densidades dos fluxos de energia no sistema solo-planta-atmosfera. São também ainda úteis, quando aplicadas em estudos evaporimétricos, que objetivam quantificar as necessidades hídricas de uma determinada cultura e de fundamental interesse para projetos de irrigação (Miranda & Pires, 2001).

Neste estudo, as componentes do balanço de energia foram estimadas para períodos horários e diários, através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. As densidades de fluxo de energia utilizadas no cálculo da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo foram integradas para o período em que o saldo de radiação foi positivo, critério adotado, também, por Heilman & Brittin (1989), Prueger et al. (1997), Lopes (1999), Silva (2000), Moura (2001) e outros. As componentes foram analisadas para as quatro fases de desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, quais sejam: semeadura a emergência, emergência ao primeiro botão floral, primeiro botão floral a primeira flor aberta e primeira flor aberta ao primeiro capulho. Os dias selecionados dentro de cada fase, para fins de análise das componentes diárias do balanço de energia, tiveram dois critérios: (a) os dias com e sem presença de nebulosidade (b) que *antecederam e sucederam* os dias de irrigação.

4.3.2.1 – Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, para condições de céu claro e com nebulosidade.

Nas Figuras 4.3 e 4.4 estão apresentados os comportamentos médios diários dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo para condições de céu *sem* e *com* nebulosidade, respectivamente. Comparando-se estas duas figuras, nota-se que a trajetória descrita pelos componentes do balanço de energia durante os dias *sem* e *com* nebulosidade, são diferentes. Na primeira, o caminho descrito pelos componentes do balanço de energia, assemelha-se a de uma parábola com concavidade voltada para baixo, e as oscilações são mínimas durante todo o percurso. No entanto, na Figura 4.4, o itinerário descrito, além de ser oscilante, não apresenta comportamento físico definido.

Na condição de céu claro, observa-se que os comportamentos das curvas das densidades de fluxo de calor latente e sensível são similares ao do saldo de radiação (R_n). Nesta condição, os componentes do balanço de energia alcançam seus valores máximos médios por volta do meio dia, hora local, para em seguida, assumirem valores decrescentes até atingir o mínimo novamente, em torno das 18h00. Na ausência de nebulosidade, os componentes do balanço de energia atingiram seus valores máximos de 687,66; 408,18; 277,49 e 43,36 W/m^2 , respectivamente.

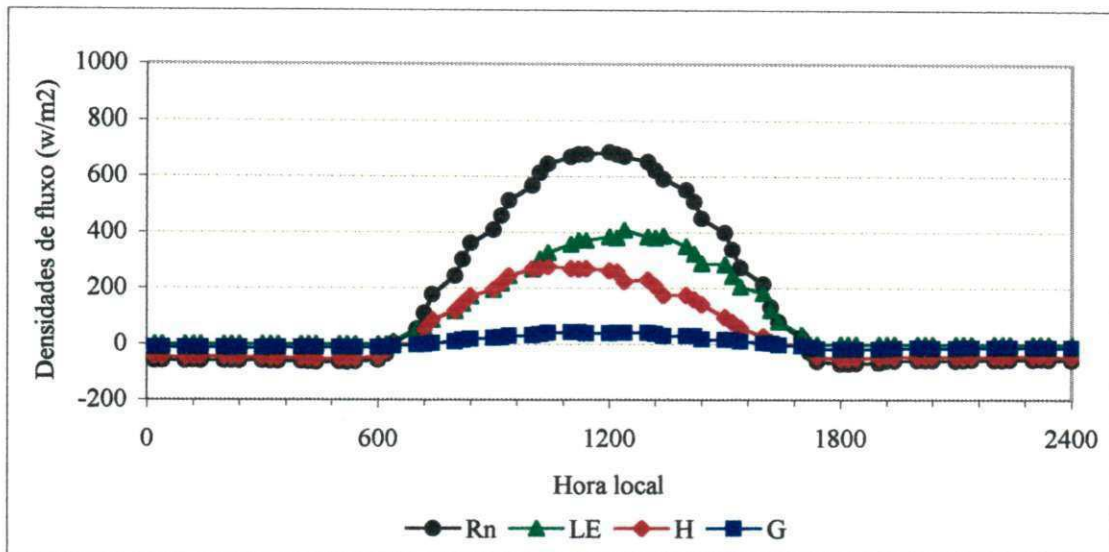


Figura 4.3 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, para dias *sem* nebulosidade.

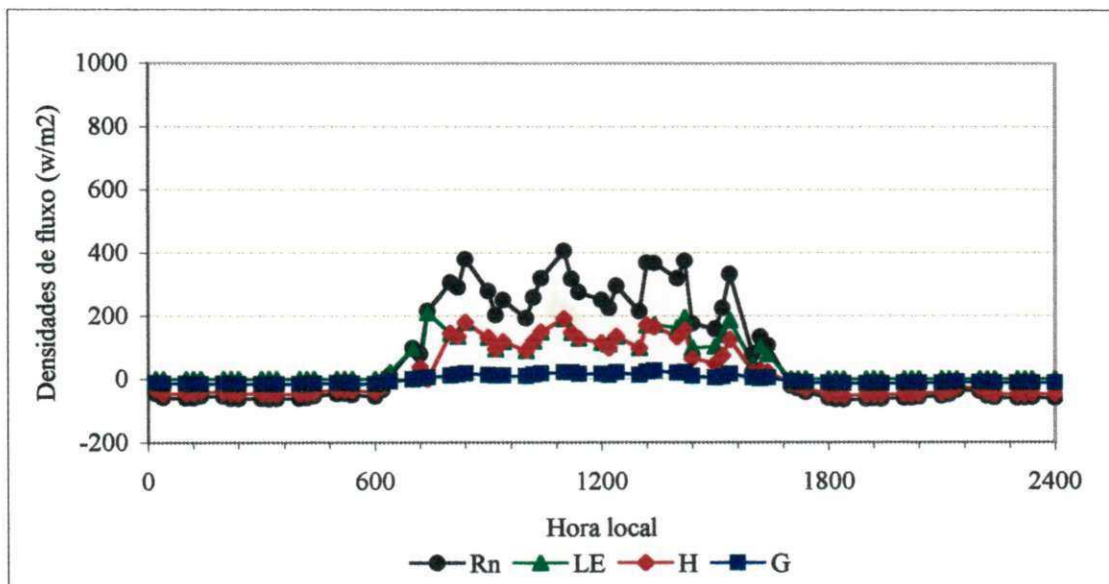


Figura 4.4 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, para dias *com* nebulosidade.

Lopes (1999) estudou o comportamento dos componentes do balanço de energia sobre um pomar de mangueira irrigado no Campo Experimental de Bebedouro, localizado no município de Petrolina-PE. De acordo com o autor, em condições de céu limpo, no decurso do estágio de queda fisiológica, os componentes R_n , LE, H e G atingiram valores máximos médios de 477,69; 425,20; 25,03 e 27,47 W/m^2 , respectivamente, por volta do meio dia. Silva (2000) monitorou o comportamento dos componentes do balanço de energia sobre um pomar de mangueira irrigado no campo experimental de Bebedouro, localizado em Petrolina-PE, objetivando determinar as necessidades hídricas da mangueira. Conforme o autor, em condições de céu limpo, no decurso do estágio de formação de frutos, os componentes R_n , LE, H e G atingiram valores máximos médios de 386,6; 297,6, 61,5 e 27,5 W/m^2 , respectivamente, observados às 12h00. Moura (2001) acompanhou o comportamento dos componentes do balanço de energia sobre um pomar de mangueira irrigado no Campo Experimental de Bebedouro, localizado em Petrolina-PE, objetivando determinar as necessidades hídricas do pomar de goiabeiras irrigado. Para a autora, em condições de céu claro, durante a fase de maturação e colheita dos frutos, os componentes do balanço de energia atingiram valores máximos médios de 663,04; 634,96; 70,66 e 28,69 W/m^2 , respectivamente, por volta das 12h30.

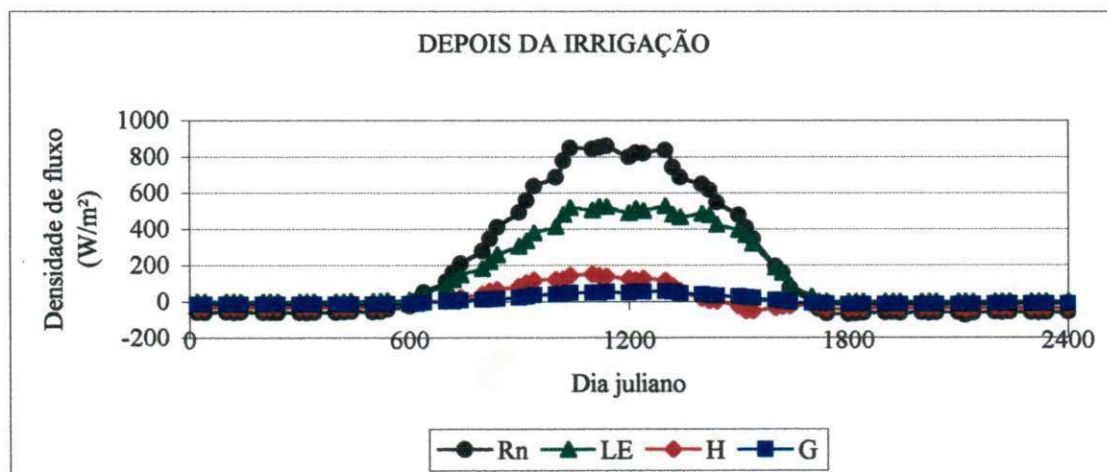
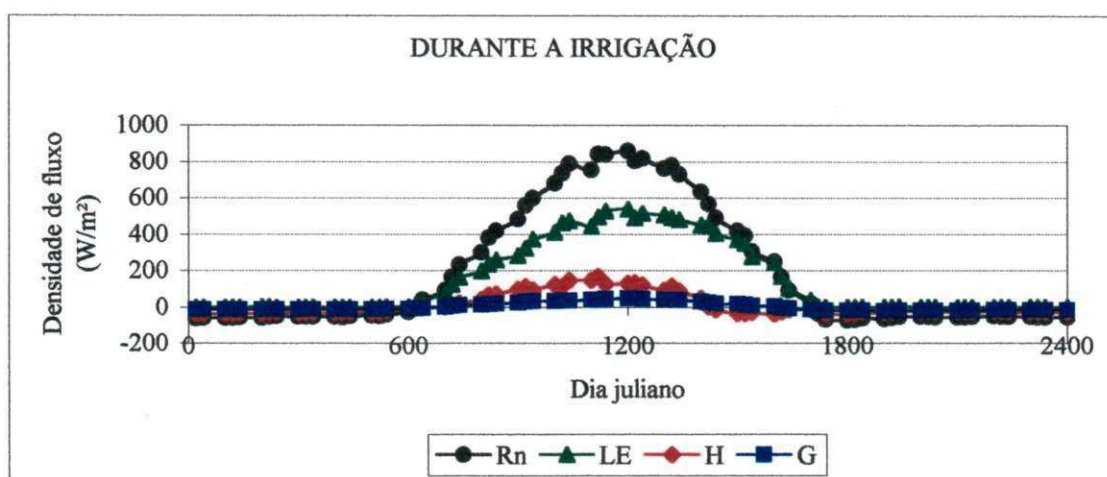
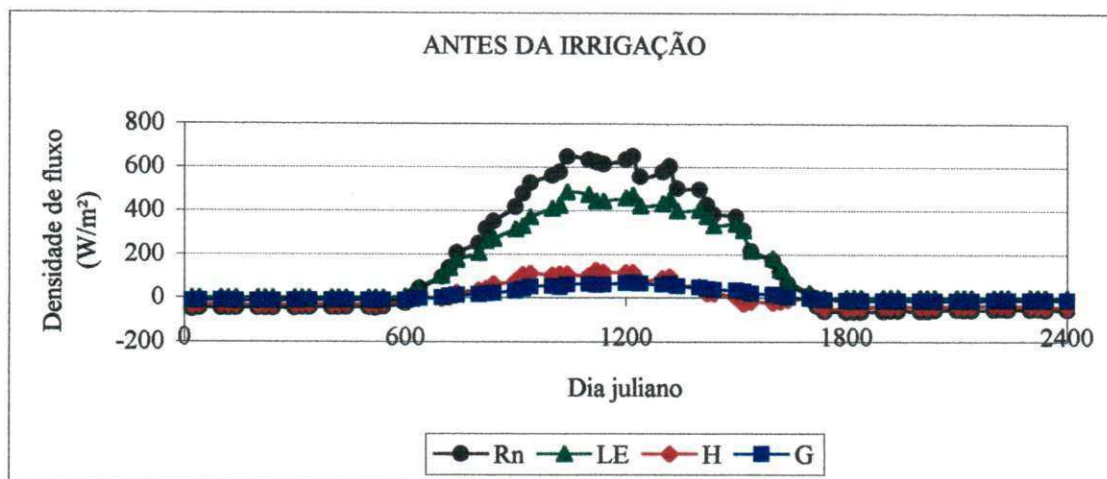
Na condição de céu com nebulosidade, observa-se que os comportamentos das curvas das densidades de fluxo de calor latente e sensível são, de certa forma, semelhantes ao do saldo de radiação (R_n), uma vez que R_n é quem define o tipo de comportamento das curvas dos demais componentes do balanço de energia. Nesta condição, observa-se uma diminuição e uma maior variabilidade nos valores do saldo de radiação e, conseqüentemente, dos demais componentes do balanço de energia. Na presença de nebulosidade R_n , LE, H e G atingiram seus valores máximos médios de 405,98; 193,04; 192,76 e 21,68 W/m^2 , respectivamente, às 11h20. Conforme Lopes (1999) durante o estágio de colheita de frutos, principalmente, no dia 17.11.1999, em decorrência do céu se encontrar bastante nublado, os componentes R_n , LE, H e G atingiram os valores médios de 318,35; 237,40; 318,35 e 7,32 W/m^2 , respectivamente. Silva (2000) observou que durante o estágio de formação de frutos, principalmente, nos dias 03.11 e 01.12.1998, em decorrência do céu se encontrar bastante nublado, os componentes R_n , LE, H e G atingiram os valores médios de 291,5; 238,4; 47,9 e 5,1 W/m^2 , respectivamente. Para Moura (2001) durante a fase de crescimento de frutos, em decorrência do céu se encontrar

bastante nublado, os componentes R_n , LE, H e G atingiram os valores médios de 580,42; 578,03; 69,37 e 30,0 W/m^2 , respectivamente. Os valores mínimos de R_n , LE, H e G foram observados no nascer e pôr-do-sol, a exemplo dos autores citados.

4.3.2.2 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, *antes, durante e logo após* o dia de irrigação.

O comportamento médio diário do saldo de radiação (R_n), das densidades de fluxo de calor latente (LE), calor sensível para o ar (H) e para o solo (G), sobre o algodoeiro herbáceo, *antes, durante e logo após* os dias de irrigação, estão apresentados nas Figuras 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente. Observa-se que os comportamentos diários médios das curvas relativas aos dias *antes* e *depois* da irrigação são similares. Percebe-se, também, que os valores máximos médios atingidos pelos componentes R_n , LE, H e G *antes* da irrigação são inferiores aos valores alcançados pelos componentes do balanço de energia *durante e depois* da irrigação. Esta diferença pode está associada às condições edafoclimáticas local e de manejo.

De acordo com Miranda & Pires (2001), sempre que uma superfície vegetada estiver bem suprida de água, a maior parte de energia disponível será utilizada no processo de evapotranspiração, que segundo o autor, representa de 70 a 80% de R_n , sendo o restante distribuído entre o aquecimento das plantas, do ar e do solo. Por outro lado, em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo, a fração de R_n destinada a evapotranspiração diminui, aumentando a fração de energia destinada aos processos de aquecimento das plantas, do ar e do solo. Para o autor, observa-se que em área seca, onde há baixa disponibilidade de água no solo, grande parte de R_n é destinada para H, sendo LE muito pequeno, e nesse caso, a relação LE/ R_n é muito menor do que 0,75 e a evapotranspiração que ocorre é condicionada pelos elementos meteorológicos e pela umidade do solo. Conforme Silva (2000), pelo fato do pomar de mangueiras ter sido irrigado duas vezes por dia no experimento de campo de 1998, resultou numa transferência menor de calor sensível para o ar (H) e para o solo (G) em todas as fases do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, enquanto que em 1999, devido o pomar de mangueiras ter sido irrigado apenas uma vez por dia, esses fluxos foram mais intensos e fortemente influenciados por R_n e pelo teor de umidade do solo.



Figuras 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente - Comportamento médio diário dos componentes do BERB, sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, antes, durante e depois do dia de irrigação.

4.3.2.3 - Análise horária dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, para o ciclo fenológico da cultura.

Os comportamentos médios horários das curvas do saldo de radiação (R_n), das densidades de fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível para o ar (H) e fluxo de calor sensível para o solo (G), sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico, estão apresentados na Figura 4.8. Observa-se que no decurso do período de 06h00 às 14h00, as curvas dos componentes LE, H e G, tenderam em acompanhar às flutuações da curva do saldo de radiação (R_n), no entanto, a partir das 14h00 local, o comportamento da curva da densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H), mostrou-se um pouco diferente, apresentando um comportamento decrescente, atingindo valores inferiores a zero. Percebe-se que durante a maior parte dos dias do ciclo da cultura, o céu apresentava-se com pouca nebulosidade, contribuindo para que os valores dos componentes R_n , LE H e G atingissem valores máximos de 689,07; 456,27; 140,45 e 59,46 W/m^2 , respectivamente, registrados por volta do meio dia local. Os valores mínimos dos componentes do balanço de energia ocorreram no nascer e pôr-do-sol.

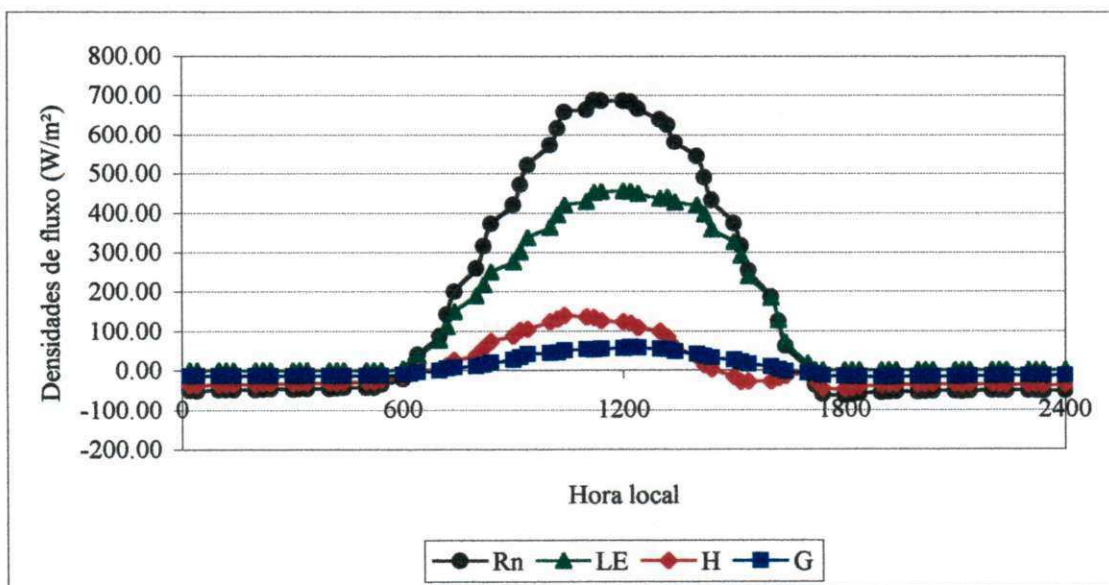


Figura 4.8 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura.

Durante os 130 dias do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, em média, diariamente 89% do saldo de radiação ($13,08 \text{ MJ/m}^2$) foi utilizado pela superfície nos processos de evapotranspiração ($11,72 \text{ MJ/m}^2$), 4% no aquecimento do solo ($0,45 \text{ MJ/m}^2$) e 7% no aquecimento do ar ($0,91 \text{ MJ/m}^2$).

4.3.2.4 - Análise diária dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, para o ciclo fenológico da cultura

Tabela 4.6 - Valores médios diários dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen e dos percentuais do saldo de radiação, utilizados por cada um deles, no decurso de cada uma das fases do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Fases de desenvolvimento	Rn (MJ m^{-2})	LE (MJ m^{-2})	H (MJ m^{-2})	G (MJ m^{-2})	LE/Rn (%)	H/Rn (%)	G/Rn (%)
I	12,55	10,46	1,23	0,86	83	10	7
II	12,58	11,23	0,99	0,36	89	8	3
III	13,40	12,25	0,85	0,30	91	7	2
IV	13,81	12,94	0,58	0,29	94	4	2
Ciclo	13,08	11,72	0,91	0,45	89	7	4

A partir da Tabela 4.6, percebe-se que os valores médios diários do saldo de radiação (Rn) aumentaram durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, e como consequência, elevaram significativamente os valores médios diários da densidade de fluxo de calor latente (LE). Observa-se, também, que os valores médios diários da densidade de fluxo de calor sensível para o solo (G) foram inferiores aos valores da densidade de fluxo de calor sensível para o ar (H), nesse mesmo período. Essa diferença observada entre os valores de G e H, está associada com o índice de área foliar, com as irrigações, o albedo, a rugosidade, a altura de planta, a umidade do solo, etc. Percebe-se, também, que a partição do saldo de radiação com LE foi crescente durante o ciclo da cultura, enquanto que entre os demais componentes do balanço de energia foi decrescente.

Durante o ciclo da cultura, 89% do saldo de radiação foi utilizado na evapotranspiração do algodoeiro herbáceos, cultivar BRS 201 (LE), 7% para aquecimento do ar (H) e 4% para aquecimento do solo (G). Para Cunha et al. (1996), o saldo de radiação em uma cultura de milho é utilizado, em proporções médias para o ciclo de desenvolvimento, em 80% na forma de fluxo de calor latente de evaporação, 14% na forma de fluxo de calor sensível na atmosfera e 6% na forma de fluxo de calor sensível no solo. Oliveira (1998), observando o comportamento dos componentes do balanço de energia sobre o amendoim percebeu que 83,2% de Rn foi utilizado em LE, 6,8% em H e 10% em G. Já Lopes (1999), constatou em seus estudos que 76,39% do saldo de radiação foi utilizada na evapotranspiração da mangueira, 18,65% para o aquecimento do ar (H) e 4,9% para aquecimento do solo (G). Por sua vez, Silva (2000) observou em seus estudos que 77,68% do saldo de radiação (Rn) foi utilizado na evapotranspiração do pomar de mangueiras (LE), 18,01% no aquecimento do ar (H) e 4,36% no aquecimento do solo.

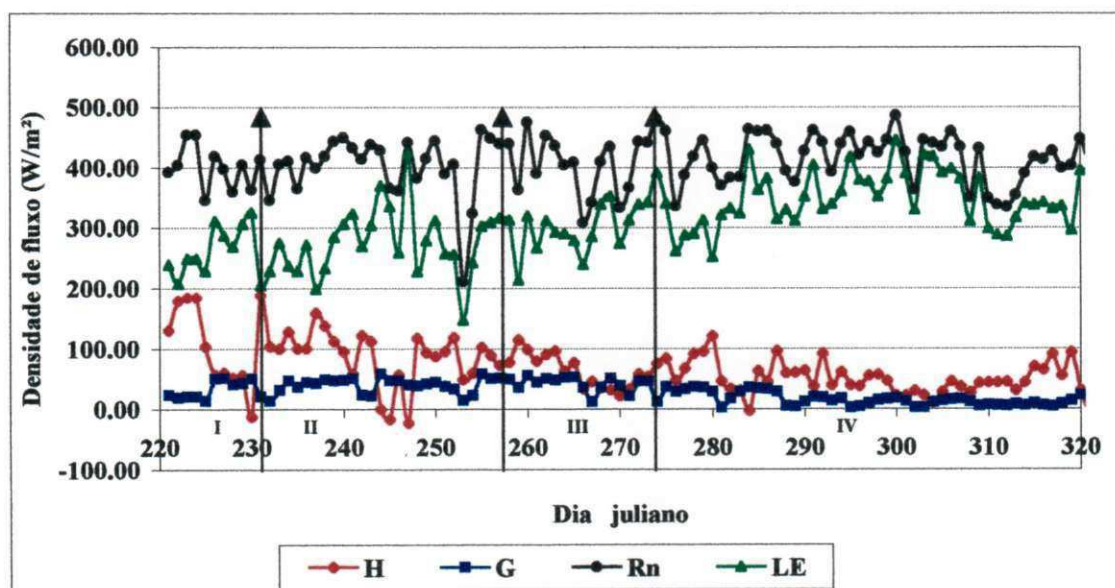


Figura 4.9 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia sobre o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura.

Na Figura 4.9 estão apresentados os comportamentos médios diários dos componentes do balanço de energia. Percebe-se que os comportamentos da densidade de fluxo

de calor latente (LE) e do saldo de radiação (Rn) são similares, oscilantes e crescentes. As oscilações estão associadas a nebulosidade ou insolação, enquanto que os comportamentos crescentes, estão relacionados com a latitude (ϕ) do local e com a declinação (δ) e o ângulo zenital do Sol, além do que, LE aumenta, também, a medida em que o IAF cresce. Já os comportamentos decrescente de H e G no decurso do ciclo da cultura, estão associados com o aumento do índice de área foliar e, provavelmente, com a formação de um micro-clima local. Os valores máximo e mínimo atingido pelos componentes Rn, LE, H e G foram de 486,68 (211,43); 445,91 (146,86); 188,41 (-22,67) e 58,40 (2,21) W/m², observados nos dias 300 (253); 300 (253); 231 (247) e 244 (303), respectivamente.

4.5 – Comportamento diário dos valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos a partir de lisímetros de drenagem e estimados através do balanço de energia baseado na razão de Bowen

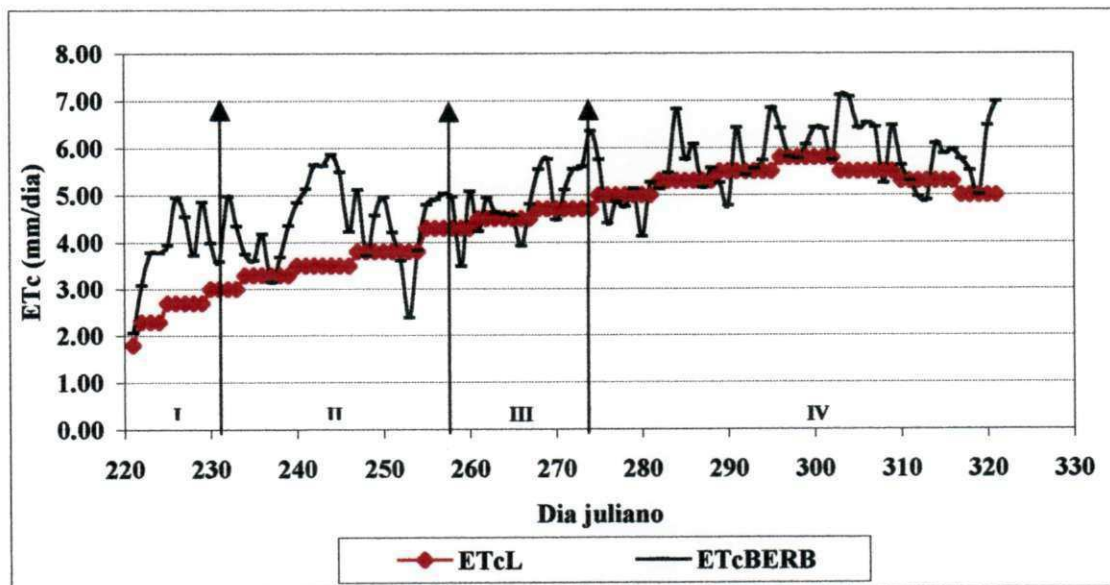


Figura 4.10 – Comportamento diário dos valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estimados a partir do BERB e medido através de lisímetros de drenagem, durante o ciclo da cultura.

Os valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos através de lisímetros de drenagem e estimados a partir do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, estão apresentados nas Tabelas 4.5 e 4.6, respectivamente, enquanto que as suas variações em função das fases de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estão ilustradas na Figura 4.10.

Através da Figura 4.10, observa-se que o comportamento da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estimada a partir do BERB é oscilante e crescente, enquanto o comportamento da ETcL é constante e crescente. As oscilações estão associadas com a nebulosidade ou insolação, com as irrigações realizadas na área experimental durante o experimento ou com as precipitações ocorridas. Já os comportamentos crescentes, estão relacionados com os aumentos dos valores do saldo de radiação (R_n) e do índice de área foliar, ocorrido durante o ciclo da cultura. Os valores máximo e mínimo alcançados por ETcL e ETcBERB, durante o ciclo fenológico da cultura, foram de 5,80 (1,80) e 7,11 (2,06) mm/dia, respectivamente, observados nos dias 303 e 221. Os valores médios de ETcL e ETcBERB foram de 4,46 e 5,12 mm/dia, respectivamente.

Para Bezerra et al. (1993) os valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, foi crescente da emergência com um mínimo de 2,7 mm/dia até a fase reprodutiva com um máximo de 9,9 mm/dia, a partir da qual foi decrescente até o final do ciclo fenológico da cultura. Segundo os autores, o valor médio girou em torno de 6,70 mm/dia. Azevedo et al. (1993) mediram os valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, através de evapotranspirômetros de lençol freático. Conforme os autores, os valores da ETc oscilaram de 2,50 a 6,4 mm/dia e o valor médio ficou em torno de 4,77 mm/dia. Oliveira et al. (1987), observou que a evapotranspiração média do algodoeiro herbáceo foi de 4,4 mm/dia, com mínimo de 2,4 mm/dia no início de crescimento das plantas e um máximo de 6,24 mm/dia, no período de plena floração e frutificação da cultura.

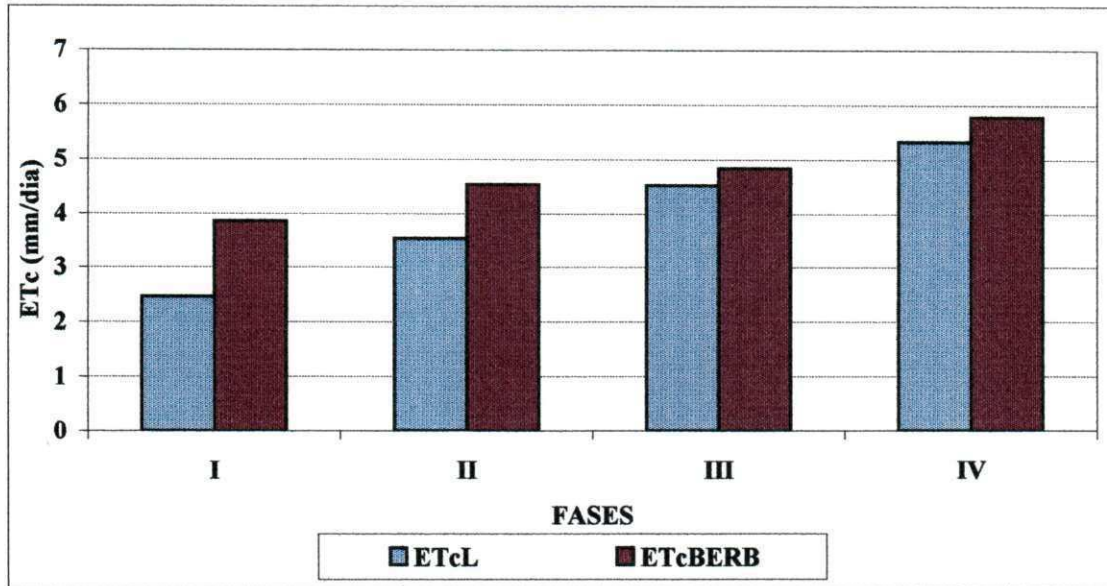


Figura 4.11 - Comportamento diário da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, em cada uma das fases do ciclo fenológico da cultura.

Na Figura 4.11 estão apresentados os valores médios, por fase, da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, medidos a partir de lisímetros de drenagem (ETcL) e estimados através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ETcBERB). Observa-se que os valores médios da ETcL e ETcBERB foram crescentes durante todo o ciclo da cultura. Esse crescimento está associado com o aumento da disponibilidade de energia ocorrido durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201 e com o aumento do índice de área foliar. Percebe-se, também, que os valores da ETcL foram inferiores aos da ETcBERB. Essa pequena diferença está relacionada com a metodologia utilizada em cada um dos métodos, já que as condições edafoclimáticas e de manejo, foram as mesmas.

4.6 - Necessidades hídricas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201

O consumo d'água, pelas plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo da cultura, foi de aproximadamente 450,90 e 517,07 mm, medido através de lisímetros de drenagem e estimados a partir do método do balanço de energia baseado na razão

de Bowen, respectivamente. Para Bezerra et al. (1995), o consumo hídrico total do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, medido através de evapotranspirômetros, foi de 616,49 mm. Conforme Azevedo et al. (1993), o consumo hídrico total do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA precoce 1, medido através de evapotranspirômetros de lençol freático constate, foi de 440,0 mm. Kakida & Marinato (1983), mediram o consumo hídrico do algodoeiro herbáceo cultivar IAC – 17, através de lisímetros de drenagem. Os autores observaram que durante o período 1980/81, o consumo hídrico foi de 668,0 mm, no entanto, em 1981/82 o consumo hídrico baixou para 415,0 mm.

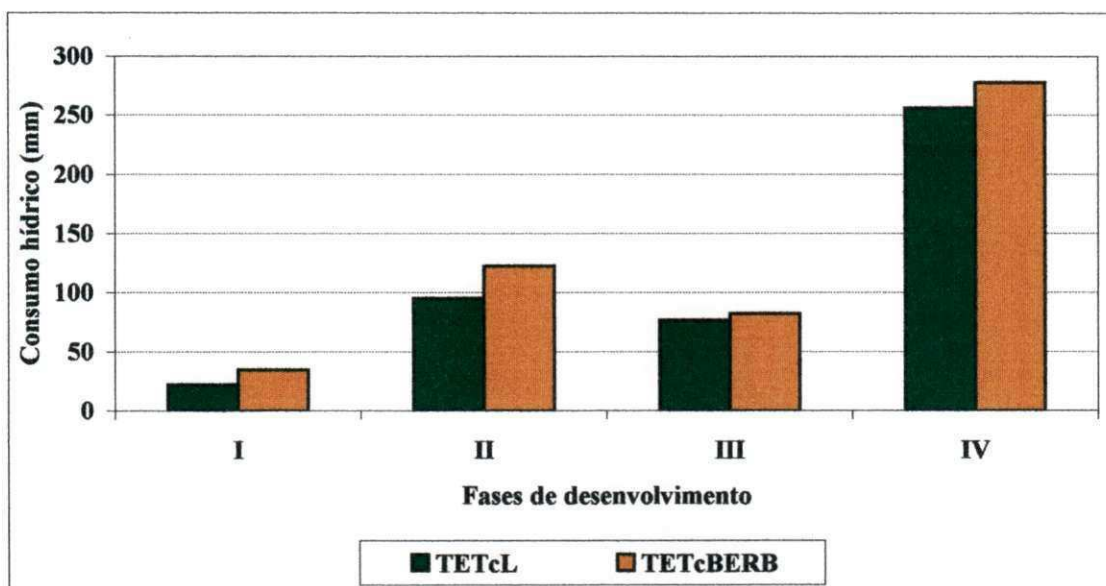


Figura 4.12 - Consumo hídrico total do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura, em Barbalha – CE.

A partir da Figura 4.12, observa-se que o consumo hídrico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi menor na primeira e na terceira fase, e maior, na segunda e na quarta fase. Estas diminuições e aumentos observados nos valores do consumo hídrico durante as fases de desenvolvimento do ciclo da cultura, estão relacionados com vários fatores, dentre eles, o número de dias que cada uma das fases possui, o índice de área foliar e o saldo de radiação. Percebe-se, também, que os valores do consumo hídrico estimado foram superiores aos valores do consumo hídrico medido. Essa diferença está associada a metodologia utilizada

em cada modelo. O consumo total de água pelas plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, no decurso do ciclo da cultura, medido através de lisímetros e estimado a partir do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen foi de aproximadamente 450,90 e 517,37 mm, respectivamente.

4.7 - Coeficiente de cultivo – (Kc)

O coeficiente de cultivo (Equação 4.30) foi obtido a partir dos valores da evapotranspiração de referência estimados através dos métodos do Tanque Classe A (ET_oTCA) e FAO - Penman-Monteith (ET_oFPM) e dos valores da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos através de lisímetros de drenagem (ET_cL) e estimados através do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ET_cBERB).

Tabela 4.7 - Valores médios dos coeficientes de cultivo, para cada fase de desenvolvimento do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Fases de desenvolvimento	Coeficiente de cultivo			
	Kc ₁	Kc ₂	Kc ₃	Kc ₄
I	0,41	0,44	0,64	0,69
II	0,54	0,59	0,71	0,75
III	0,65	0,73	0,70	0,78
IV	0,73	0,81	0,79	0,87
Ciclo	0,73	0,81	0,79	0,87

A partir da Tabela 4,7, observa-se que os valores do coeficiente de cultivo aumentaram significativamente durante o ciclo fenológico da cultura, independente da combinação realizada com os métodos utilizados na estimativa e medida da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo e de referência. Percebe-se, também, que o Kc está intrinsecamente relacionado com as peculiaridades específicas de cada uma das metodologias utilizadas no estudo, principalmente, com as dos métodos utilizados nas medidas e/ou estimativas de ET_c, com o manejo de água e práticas culturais adotadas, com as condições edafoclimáticas local, com o tipo de planta, estágio de desenvolvimento, umidade do solo, etc. De um modo geral, percebe-se que o coeficiente do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, assumiu seus menores

valores na fase inicial, período em que o solo encontrava-se sem vegetação. Seus maiores valores foram observados na quarta fase desenvolvimento da cultura, quando o índice de área foliar atingiu seu valor máximo. A partir daí, o K_c permaneceu constante e, depois de um certo tempo, começou a diminuir progressivamente, em decorrência da senescência das plantas do algodoeiro herbáceo e do corte de irrigação.

De acordo com Azevedo et al. (1993), os valores do coeficiente de cultivo do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, variaram de 0,40 - 0,50; 0,50 - 0,80; 0,80 - 0,90 e 0,90 - 1,20, durante o I, II, III e IV estágios, respectivamente. Bezerra et al. (1995), monitorando diariamente a evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, através do balanço hídrico e, estimando a evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos, utilizando-se os métodos propostos por Penman (ETPN), Jury & Tanner (ETJT), Penman modificado pela FAO (ETPF), Tanque Classe A (ETCA), Priestley & Taylor (ETPT), Linacre (ETL) e Hargreaves (ETH), obtiveram os seguintes coeficientes de cultivo:

Estádios	K_{cPN}	K_{cJT}	K_{cPF}	K_{cCA}	K_{cPT}	K_{cL}	K_{cH}
I	0,39	0,47	0,36	0,49	0,48	0,42	0,51
II	0,70	0,85	0,64	0,82	0,84	0,76	0,88
III	0,91	1,05	0,86	1,04	1,07	1,07	1,22
IV	0,74	0,84	0,71	0,88	0,84	0,85	0,99

Para Allen et al. (1998), o valor do coeficiente de cultivo varia de 1,15 - 1,20 na fase inicial; de 1,10 - 1,15 na fase intermediária; e de 0,70 - 0,50 na fase final.

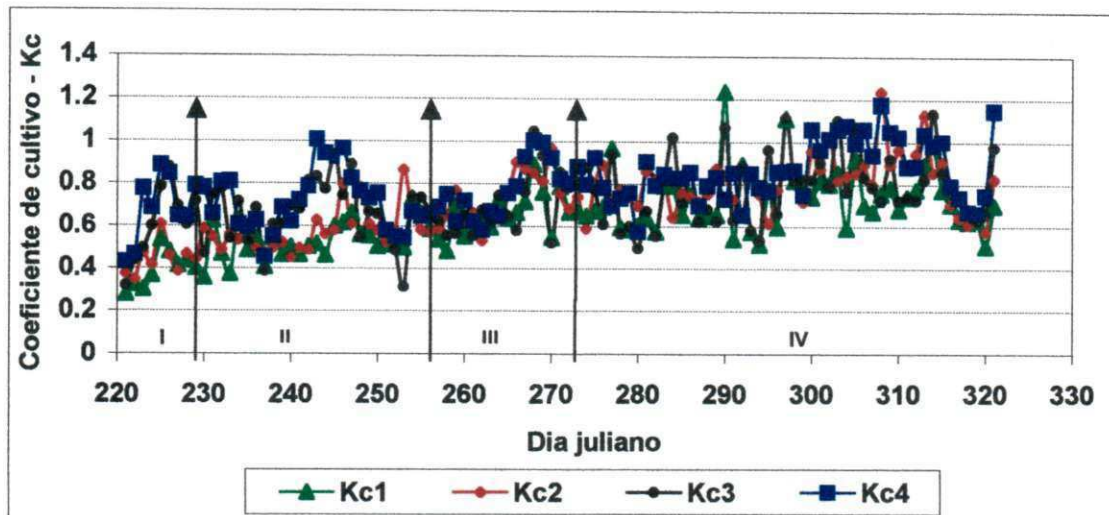


Figura 4.13 – Comportamento diário dos coeficientes de cultura durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

A partir da Figura 4.13, observa-se que os comportamentos das curvas dos coeficientes de cultivo são oscilantes e crescentes durante todo o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. Essas oscilações estão associadas a vários fatores, dentre eles, destacam-se: os métodos utilizados na estimativa ou medida de E_{To} e E_{Tc} , condições edafoclimáticas, planta, fase de desenvolvimento, disponibilidade de água no solo, condições de cultivo, etc. Os aumentos dos valores do coeficiente de cultivo (K_c) estão relacionados com o crescimento de E_{To} e E_{Tc} . De acordo com Allen et al. (1998), o K_c varia predominantemente com as características específicas da cultura e as práticas culturais adotadas. A partir da Figura 4.2, observa-se que as diferenças entre os valores de E_{ToTCA} e E_{ToFPM} são mínimas, daí a razão de K_{c1} e K_{c2} assumirem valores muito próximo, uma vez que E_{TcL} é a mesma. Nota-se, também, que K_{c3} e K_{c4} assumem valores muito parecidos, também em decorrência das diferenças entre os valores de E_{ToTCA} e E_{ToFPM} serem mínimas e E_{TcBERB} ser a mesma. No entanto as diferenças observadas entre os valores de K_{c1} e K_{c2} com os de K_{c3} e K_{c4} , decorrem do fato dos valores da E_{TcL} serem diferentes dos de E_{TcBERB} . Os valores máximos e mínimos atingidos pelo K_{c1} , K_{c2} , K_{c3} e K_{c4} , durante o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, foram de 1,23 (0,27); 1,23 (0,34); 1,13 (0,31) e 1,17 (0,31), observados nos dias 290 (221), 308 (222), 314 (221) e 308 (221), respectivamente.

4.8 - Análise de crescimento

4.8.1 - Valores primários

4.8.1.1 - Altura de Plantas – (H)

Os valores médios semanais das alturas das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, obtidos a partir de uma régua graduada em centímetro, estão apresentados na Tabela 4.8, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.14.

Tabela 4.8 - Exibe as datas das semanas após semeadura (SAS), o número de dias após semeadura (DAS), altura (H), Peso seco (PS) e área foliar da planta (AFP) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

Valores primários				
SAS	DAS	H (cm)	PS (g)	AFP (cm²)
09/08 – 15/08	7	-	-	-
16/08 – 22/08	14	-	-	-
23/08 – 29/08	21	-	-	-
30/08 – 05/09	28	17,10	6,29	638,78
06/09 – 12/09	35	24,70	14,38	980,99
13/09 – 19/09	42	44,50	29,21	1.340,35
20/09 – 26/09	49	52,70	34,53	1.855,13
27/09 – 03/10	56	67,30	49,61	2.150,48
04/10 – 10/10	63	74,20	61,38	2.781,64
11/10 – 17/10	70	87,50	76,40	3.674,64
18/10 – 24/10	77	94,30	92,75	4.852,71
25/10 – 31/10	84	96,50	123,49	5.145,60
01/11 – 07/11	91	96,50	117,72	4.764,09
08/11 – 14/11	98	96,50	104,65	4.266,52
15/11 – 21/11	105	96,50	95,60	3.875,00
22/11 – 28/11	112	96,50	89,40	3.568,00
Média		72,68	68,88	3.068,76
Des. Padrão		29,07	39,24	1.547,05

de Benincasa (1988). Elas foram iniciadas durante a segunda semana da segunda fase, ou seja, 28 dias após sementeira, e finalizadas na última semana da quarta fase, isto é, 112 DAS. No decurso do ciclo fenológico da cultivar BRS 201, a altura máxima medida foi 96,50 cm, observado aos 84 dias após sementeira, a partir do completo crescimento da cultura, embora a média das 20 plantas tenha se situado em torno de $72,68 \pm 29,07$ cm.

Silva et al. (1998) estudando os efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, observaram que no tratamento não estressado (TNE) a altura máxima medida das plantas do algodoeiro herbáceo foi de 93,0 cm, apesar da média aritmética das vinte plantas, ter sido igual a 76,5 cm, confirmado aos 86 dias após sementeira. No entanto, no tratamento estressado (TE), a altura média das vinte plantas situou-se em torno dos 71,6 cm e ocorreu no 72 DAS. De acordo com os autores, as diferenças observadas entre as alturas dos tratamentos podem ser atribuídas principalmente ao fator água. Beltrão et al. (1990) objetivando verificar o comportamento do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, nas condições mesológicas do Sertão paraibano, no que se refere aos padrões de crescimento e desenvolvimento, conduziram experimentos de campo no ano agrícola de 1986 e repetiram em 1987. Os autores observaram que no primeiro ano, com precipitações pluviárias irregulares e solo não adubado, a cultivar CNPA Precoce 1, atingiu altura máxima de 61,3 cm, enquanto que em 1987, com chuvas mais regulares e solo fertilizado, a cultivar alcançou altura máxima de 7,08 cm, observado aos 75 dias após emergência.

A curva de regressão obtida a partir dos valores da altura de plantas (H) e o número de dias após sementeira (DAS), está apresentada na Figura 4.14. A função que se adequou melhor ao conjunto de dados e que obteve coeficiente de determinação r^2 igual a 0,99 está representada através da seguinte expressão matemática:

$$H = -2,2212 + 100,8710 / (1 + \text{EXP}(-(DAS - 46,0270) / 12,3150)) \quad (\text{cm})$$

De acordo com Benincasa (1988) a utilização de equações de regressão para representar a progressão do crescimento ao longo do ciclo fenológico, permite avaliar de forma mais precisa, variações no padrão de crescimento de plantas em relação a um atributo

(altura, matéria seca, área foliar) em função de tratamentos impostos ou de variabilidade genética.

A variação do crescimento vegetativo da parte aérea da planta em função do número de dias após semeadura pode ser bem mais compreendida, se for dividida em três etapas: uma inicial, intermediária e final. Magalhães (1979) examinando uma curva hipotética do crescimento de um vegetal, expresso em termos de peso seco, área foliar e altura, observou que existe um período inicial em que o crescimento desses dois valores primário e dessa característica é lento, seguido de uma etapa de rápido aumento de peso seco, altura e área foliar e, finalmente, um decréscimo na acumulação de matéria seca e área foliar e, uma constância no valor da altura das plantas.

A etapa inicial, que durou aproximadamente 35 dias após semeadura, englobou as fases I e II. Durante este período, o crescimento vegetativo foi muito lento, a cultivar BRS 201, cresceu apenas 24,70 cm. Para Beltrão & Cavalcanti (1989) o crescimento das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, foi moroso durante os primeiros 35 dias após semeadura. Os autores observaram que a altura máxima observada atingida durante este período foi de aproximadamente 24,0 cm. De acordo com Silva et al. (1998) a altura máxima observada alcançada pelas plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, durante os primeiros 35 dias, para TNE e TE, ficaram em torno de 26,0cm.

A etapa intermediária aglomerou a terceira fase e uma pequena parte da quarta, compreendeu um período de aproximadamente 63 dias, estendendo-se dos 36 aos 98 dias após semeadura. Durante esta etapa, o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, atingiu seu valor máximo observado de 96,50 cm. Para Silva et al. (1998) a altura máxima observada alcançada pelas plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, para TNE e TE, foram de aproximadamente 93,0 e 70,0 cm, observados aos 86 e 72 dias após semeadura, respectivamente. Conforme Beltrão & Cavalcanti (1989) as plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1 atingiram altura máxima observada de 85,5 cm aos 75 dias após emergência.

A etapa final teve início aos 98 dias após semeadura, período em que as plantas do algodoeiro herbáceo alcançaram suas alturas máximas observadas, e as conservaram até o final do ciclo fenológico. Conforme Magalhães (1979), durante este período, a planta inicia

uma fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica.

A trajetória descrita pela curva de regressão da altura de plantas em função do número de dias após semeadura é compatível à obtida para a cultura do algodoeiro herbáceo por outros autores (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Silva et al., 1998; Beltrão et al., 2000 e Nóbrega et al., 2001).

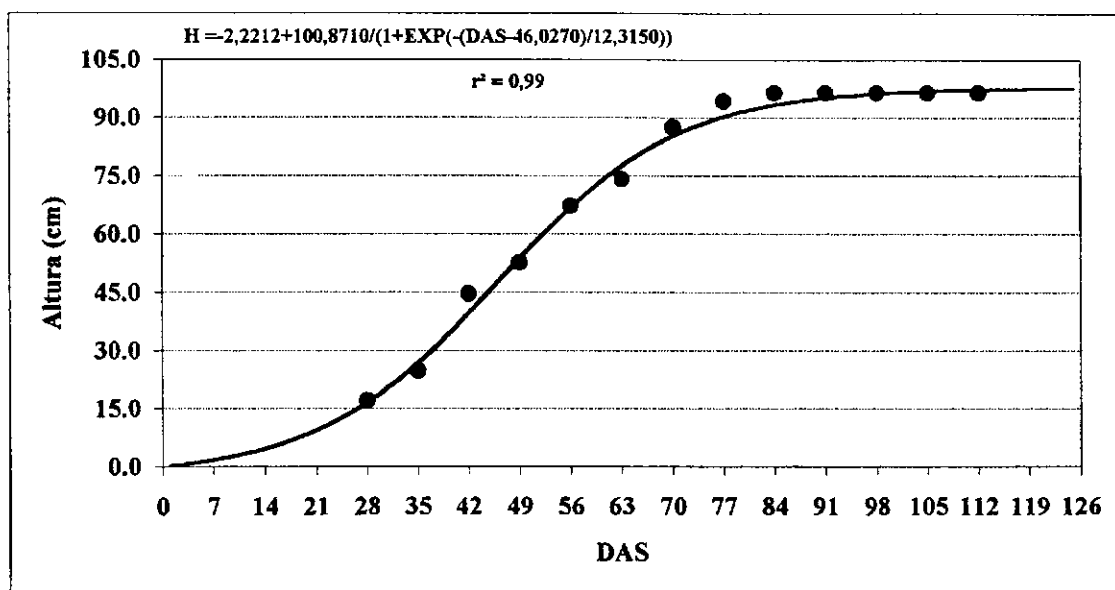


Figura 4.14 - Comportamento diário da altura (H) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

4.8.1.2 - Área foliar da planta – (AFP)

Os valores médios semanais da área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estimados a partir de um integrador de áreas marca LI-3.300, estão apresentados na Tabela 4.8, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.15.

A partir da Tabela 4.8, observa-se que medições das áreas foliares das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram feitas semanalmente, conforme recomendações de Benincasa (1988). A exemplo do que aconteceu com o valor primário altura, elas foram iniciadas durante a segunda semana da segunda fase, ou seja, 28 dias após

semeadura, e finalizadas na última semana da quarta fase, isto é, 112 DAS. No decurso do ciclo fenológico da cultivar BRS 201, a área foliar máxima medida foi de 5.145,60 cm², observado aos 84 dias após semeadura, embora a média das 5 plantas extraídas fora da parcela estande, tenha se situado em torno de 3.068,76 ± 1.547,05 cm².

Souza (1994) analisando alguns parâmetros morfofisiológicos do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, em um experimento de campo conduzido no município de Ipanguassu-RN, no período de agosto a dezembro de 1992, observou que no tratamento não estressado (TNE) a área foliar máxima medida das plantas do algodoeiro herbáceo foi de 3.900,0 cm², apesar da média aritmética das cinco plantas, ter sido igual a 2.192,00 cm², observado aos 93 dias após semeadura, no entanto, no tratamento estressado (TE), a área foliar máxima medida foi de 3.200,0 cm², observado aos 93 DAS, enquanto que a área foliar média das cinco plantas, situou-se em torno dos 1.630,77 cm².

Beltrão et al. (1990) verificaram o comportamento do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, nas condições mesológicas do Sertão paraibano, no que se refere aos padrões de crescimento e desenvolvimento, a partir de experimentos de campo no ano agrícola de 1986 e 1987, respectivamente. Os autores observaram que no primeiro ano, com precipitações pluviárias irregulares e solo não adubado, a cultivar CNPA Precoce 1, atingiu área foliar máxima medida de 2.912,90 cm², enquanto que em 1987, com chuvas mais regulares e solo fertilizado, a cultivar alcançou área foliar máxima medida de 7.087,90 cm², observado aos 75 dias após emergência.

A curva de regressão obtida a partir dos valores da área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo (AFP) e o número de dias após semeadura (DAS), está apresentada na Figura 4.15. A função que se adequou melhor ao conjunto de dados e que obteve coeficiente de determinação r^2 igual a 0,98 está representada através da seguinte expressão matemática:

$$AFP = (0,2151 + 9,6723 * DAS) / (1 - 0,0215 * DAS + 0,0001 * DAS^2) \quad (\text{cm}^2)$$

As alterações da área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, ocorridas durante o ciclo fenológico da cultura, pode ser mais bem entendidas, se forem estudadas em três etapas distintas, quais sejam: uma inicial, intermediária e final.

A primeira etapa durou aproximadamente 42 DAS e reuniu as fases I e II. As modificações ocorridas na área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, no decurso desta etapa foram pequenas. Durante este período, a área foliar máxima observada foi de apenas 1.406,24 cm². Para Beltrão & Cavalcanti (1989) o desenvolvimento da área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, foi baixo nos primeiros 42 dias após emergência. De acordo com os autores, a área foliar máxima observada foi de 2.500,0 cm². Nóbrega et al (2001) avaliaram, através da análise de crescimento, os efeitos da irrigação com água de esgoto sanitário, tratado em tanques sépticos e água de abastecimento, no crescimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 187 8H. Conforme os autores, as áreas foliares observadas dos dois tratamentos, ficaram abaixo de 500,0 cm² nos primeiros 42 dias após emergência.

A etapa intermediária que comportou a terceira fase e uma pequena parte da quarta, durou aproximadamente 43 dias, estendendo-se dos 42 aos 84 dias após semeadura. Durante esta etapa, a área foliar do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, atingiu seu valor máximo observado de 5.145,60 cm². Para Nóbrega et al (2001) as áreas foliares observadas nos dois tratamentos, apresentaram valores máximos aos 120 dias após semeadura de 5.000,0 e 2.000,0 cm², respectivamente. De acordo com os autores, esse resultado pode ser perfeitamente justificado pelo fato de que o ciclo das culturas irrigadas pode apresentar-se mais longo, alterando-se as fases fenológicas. Beltrão & Cavalcanti (1989) verificaram que a área foliar observada do algodoeiro herbáceo, cultivar Precoce 1, foi máxima de 6.800,0 cm², aos 75 dias após emergência.

A etapa final teve início aos 84 dias após semeadura, período em que as plantas do algodoeiro herbáceo atingiram suas áreas foliares máximas observadas, para logo em seguida, assumirem valores decrescentes até o final do ciclo fenológico. Esse comportamento está associado a vários fatores. De acordo com Benincasa (1988) à medida que a área foliar cresce o índice de área foliar também cresce, até que atingirá um valor, a partir do qual o autosombreamento passa a ser prejudicial, aumentando o número de folhas (ou superfície foliar) que são mantidas sob iluminação precárias, o que diminui bastante sua eficiência fotossintética. Conforme Magalhães (1979), durante este período, a planta inicia uma fase de

senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica, bem como, a queda brusca de folhas da planta.

O comportamento diário da curva de regressão da área foliar das plantas da cultivar BRS 201, em função do número de dias após semeadura, é compatível à obtida por outros autores (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Silva et al. 1998; Beltrão et al. 2000 e Nóbrega et al. 2001), para a cultura do algodoeiro herbáceo.

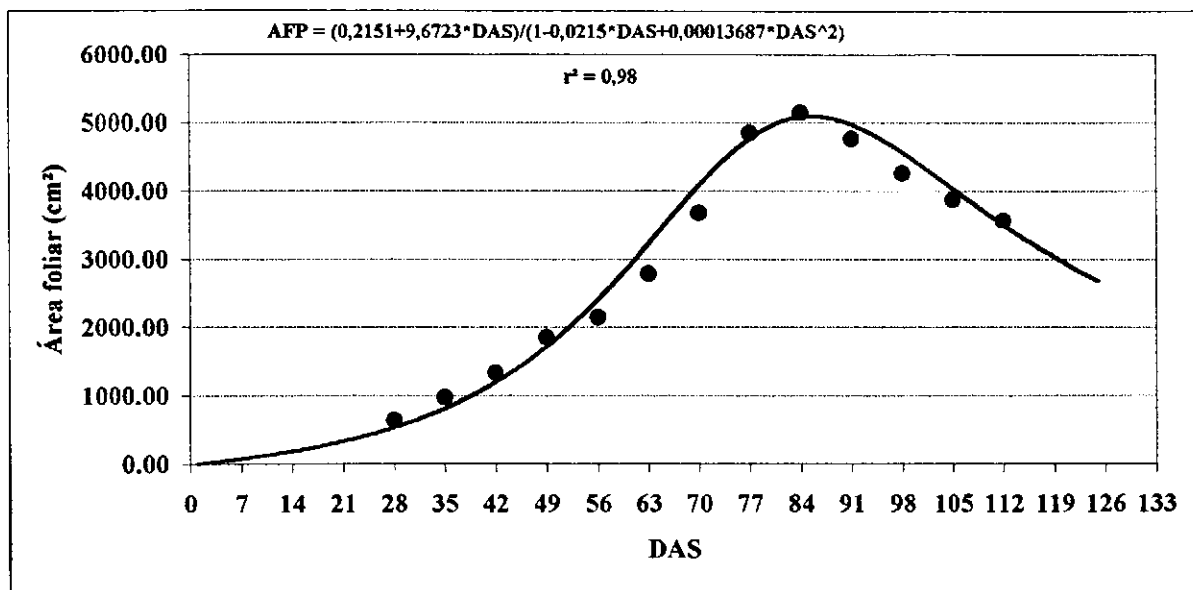


Figura 4.15 - Comportamento diário da área foliar da planta (AFP) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

4.8.1.3 – Peso seco – (PS)

Os valores médios semanais do peso seco das cinco plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, obtidos a partir de uma balança eletrônica com precisão de 0,01g, estão apresentados na Tabela 4.8, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.16.

A partir da Tabela 4.8, observa-se que medições do peso seco das cinco plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, a exemplo dos outros dois valores primários, foram realizadas semanalmente, conforme recomendações de Benincasa (1988). Elas foram iniciadas

na segunda semana da segunda fase, ou seja, 28 dias após sementeira, e finalizadas na última semana da quarta fase, isto é, 112 DAS. No decurso do ciclo fenológico da cultivar BRS 201, o peso seco máximo medido foi 123,49g, observado aos 84 dias após sementeira, embora a média das 5 plantas tenha se situado em torno de $68,88 \pm 39,24$ g.

Souza (1994) observou que o peso seco máximo medido das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, no tratamento não estressado (TNE) foi de 122,96 g, observado aos 93 DAS, apesar da média aritmética das cinco plantas, ter sido igual a 60,0 g. Conforme o autor, no tratamento estressado (TE), o peso seco máximo medido situou-se em torno dos 81,13 g, verificado aos 107 DAS, embora a média aritmética das cinco plantas tenha situado em torno de 40,83 g. Nóbrega et al. (2001) observaram que o peso seco máximo medido das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 187 8H, nos dois tratamentos T₁ e T₂ foram de 120,0 e 32,0 g, respectivamente. Conforme os autores, o elevado valor da fitomassa seca no tratamento T₁ pode ser atribuído a uma grande concentração de micronutrientes na água de esgoto que foram absorvidos pelas plantas.

A curva de regressão obtida a partir dos valores do peso seco das plantas do algodoeiro herbáceo (PS) e o número de dias após sementeira (DAS), está apresentada na Figura 4.16. A função que se adequou melhor ao conjunto de dados e que obteve coeficiente de determinação r^2 igual a 0,98 está representada através da seguinte expressão matemática:

$$PS = EXP(-3,0464 - 0,000002 * DAS^3 + 0,9758 * DAS^{0,5}) \quad (g)$$

As alterações do peso seco das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, ocorridas durante o ciclo fenológico da cultura, pode ser mais bem compreendidas, se forem estudadas em três períodos distintos: uma inicial, intermediária e final.

O primeiro período agrupou as fases I e II e durou aproximadamente 40 dias. Durante esta temporada, o peso seco máximo observado pelas plantas do algodoeiro herbáceo foi de aproximadamente 20,03 g. De acordo com Nóbrega et al (2001) o acúmulo de fitomassa seca pelas plantas nos primeiros 40 dias após sementeira foi baixo nos dois tratamentos, com valores médios variando em torno de 30,0 e 20,0 g.planta⁻¹, para T1 e T2, respectivamente. Silva et al. (1998) observaram valores máximos de fitomassa seca do algodoeiro herbáceo,

cultivar CNPA 6H, em ambos os tratamentos, durante os primeiros 40 dias após semeadura, de 26,76 e 14,56 g.planta⁻¹, respectivamente. O valor máximo de fitomassa seca observado por Beltrão et al. (1990) durante os primeiros 40 dias após semeadura, foi de aproximadamente 27,0 g.planta⁻¹.

No período intermediário, que durou 53 dias após semeadura, ocorreu um apressamento na produção de fitomassa seca por parte da planta, até atingir valor máximo observado de 116,25 g, confirmado aos 92 DAS. De acordo com Silva et al. (1998) a cultivar CNPA 6H atingiu fitomassa seca máxima observada de 122,96 e 81,13 g.planta⁻¹, no TNE e TE, observado aos 93 e 107 DAS, respectivamente. Nóbrega et al. (2001) observaram em seus estudos, que a cultivar BRS 187 8H alcançou valores máximos de 120,0 e 32,0 g.planta⁻¹, nos tratamentos em que as plantas foram irrigadas com água de esgoto sanitário tratado em tanques sépticos (T1) e com água de abastecimento (T2), verificados aos 120 DAS. Em condições de sequeiro, Beltrão & Cavalcanti (1989) obtiveram fitomassa seca máxima da cultivar CNPA Precoce 1 de 95,0 g.planta⁻¹, verificado aos 90 dias após emergência.

O período final teve início aos 92 dias após semeadura, período em que as plantas do algodoeiro herbáceo atingiram peso seco máximo observado, para logo em seguida, assumirem valores decrescentes até o final do ciclo fenológico. Esse comportamento está associado a vários fatores. De acordo com Benincasa (1988) à medida que a área foliar cresce o índice de área foliar também cresce, até que atingirá um valor, a partir do qual o autossombreamento passa a ser prejudicial, aumentando o número de folhas (ou superfície foliar) que são mantidas sob iluminação precárias, o que diminui bastante sua eficiência fotossintética. Conforme Magalhães (1979), durante este período, a planta inicia uma fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica, bem como, a queda brusca de folhas da planta.

A trajetória descrita pela curva da fitomassa seca da cultivar BRS 201, em função do número de dias após emergência, está de acordo com a obtida por outros autores (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Silva et al., 1998; Beltrão et al., 2000 e Nóbrega et al., 2001), para a cultura do algodoeiro herbáceo.

Em geral, as diferenças observadas entre as medições dos valores primários do algodoeiro herbáceo para diferentes cultivares precoces, são atribuídas às condições edafoclimáticas, ecofisiológicas, tratos culturais, características genéticas, etc.

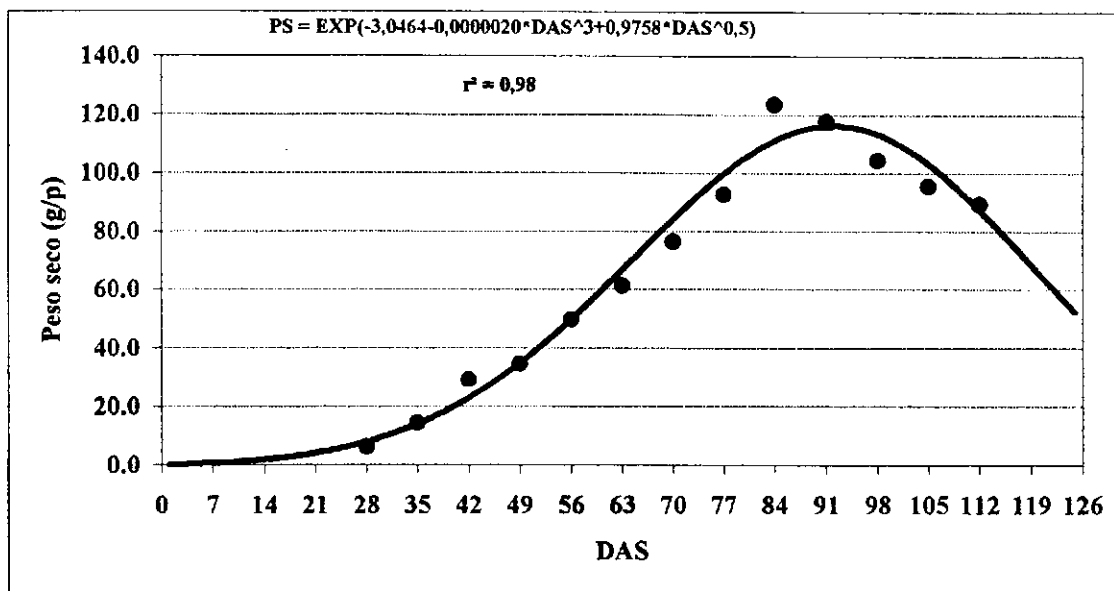


Figura 4.16 - Comportamento diário do peso seco (PS) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

4.8.2 - Características do crescimento

4.8.2.1 - Taxa de crescimento absoluto – (TCA)

A taxa de crescimento absoluto ou taxa de crescimento da cultura, é a variação ou incremento de massa da planta, entre duas amostragens consecutivas, por unidade de tempo. Ela expressa a velocidade média de crescimento da cultura ao longo do período de observação (Benincasa, 1988).

Os valores médios semanais da taxa de crescimento absoluto (TCA), obtidos a partir das medições semanais de peso seco (PS), estão apresentados na Tabela 4.9, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.17.

que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.17.

Tabela 4.9 - Valores semanais do índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de assimilação líquida (TAL).

Características do crescimento				
DAS	IAF (m²/m²)	TCA (g/dia)	TCR (g/g)/dia	TAL (g/cm²)/dia
28	0,40			
35	0,61	1,1554	0,1181	0,0014
42	0,84	2,1186	0,1012	0,0018
49	1,16	0,7600	0,0239	0,0005
56	1,34	2,1549	0,0518	0,0011
63	1,74	1,6803	0,0304	0,0007
70	2,30	2,1463	0,0313	0,0007
77	3,03	2,3357	0,0277	0,0006
84	3,22	4,3914	0,0409	0,0009
91	2,98	-0,8243	-0,0068	-0,0002
98	2,67	-1,8671	-0,0168	-0,0004
105	2,42	-1,2929	-0,0129	-0,0003
112	2,23	-0,8857	-0,0096	-0,0002
Média	1,92	0,9894	0,0316	0,0005
Dês.Padrão	0,97	1,8608	0,0431	0,0007

Através da Tabela 4.9, observa-se que os valores semanais da taxa de crescimento absoluto do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram obtidos a partir do 35 dias após sementeira. Durante este período, a TCA máxima medida foi de 4,3914 g/dia, observado aos 84 dias após sementeira, embora a média tenha se situado em torno de $0,9894 \pm 1,8608$ g/dia.

As variações diárias do crescimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, ocorridas durante o ciclo fenológico da cultura, foi estudada em três períodos distintos: um inicial, intermediário e final.

Na Figura 4.17 estão apresentadas as variações diárias do crescimento absoluto do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura. Observa-se

(1999) o crescimento da parte aérea é relativamente baixo nos primeiros dias (emergência ao primeiro botão floral), mas há um vigoroso crescimento do sistema radicular, a raiz pivotante penetra no solo rapidamente, podendo atingir uma profundidade de 25 cm ou mais. Beltrão et al. (1990) observaram que durante os primeiros 30 DAE, a taxa de crescimento absoluto observada não ultrapassou $0,02 \text{ g}\cdot\text{dia}^{-1}$.

O período intermediário durou aproximadamente 45 dias. Iniciou aos 25 DAS e terminou aos 65 dias após semeadura. Ele é caracterizado pelo rápido crescimento da TCA, que no decurso desse tempo, variou de 0,5489 até atingir o valor máximo observado de 2,5182 g/dia. Segundo Baker & Landivar (1991) durante este período acentua-se o crescimento em altura e a acumulação de matéria seca pela planta, que entram na fase linear de crescimento. Souza (1994) observou que a taxa de crescimento absoluto do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, atingiu seu valor máximo observado de 5,2 e 3,0 $\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$, para os tratamentos não estressado e estressado, respectivamente, aos 72 dias após emergência.

A partir dos 66 dias após semeadura, os valores da taxa de crescimento absoluto diminuíram acentuadamente. Essa diminuição dos valores da TCA pode, em parte, ser justificada, em decorrência da cultura ter iniciado sua fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica e do autossombreamento.

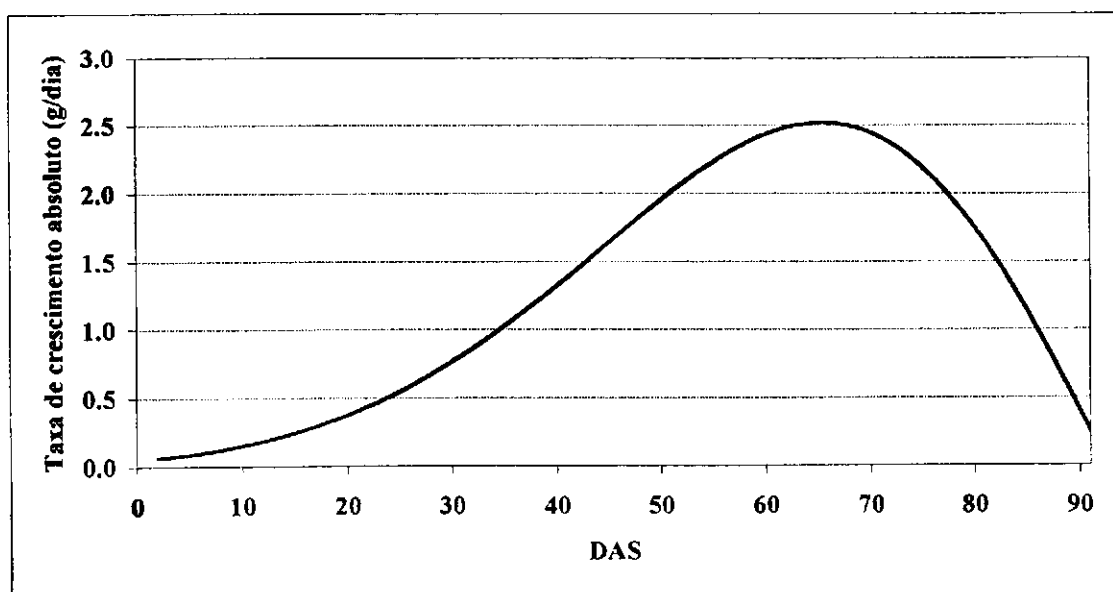


Figura 4.17 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS201.

4.8.2.2 - Taxa de crescimento relativo – (TCR)

A taxa de crescimento relativo é a medida mais apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado. O resultado é expresso em unidade de material vegetal produzido por material vegetal já existente, durante um intervalo de tempo prefixado (Magalhães, 1979).

Os valores médios semanais da taxa de crescimento relativo (TCR), obtidos a partir das medições semanais de peso seco (PS), estão apresentados na Tabela 4.9, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.18.

A partir da Tabela 4.9, observa-se que os valores semanais da taxa de crescimento relativo do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram obtidos a partir do 35 dias após sementeira. Durante este período, a TCR máxima medida foi de 0,1181 (g/g)/dia, observado aos 35 dias após sementeira, embora a média tenha se situado em torno de $0,0316 \pm 0,0431$ (g/g)/dia. Beltrão et al. (1990) observaram que o valor máximo medido da taxa de crescimento relativo do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, foi de 0,107 (g/g)/dia.

Na Figura 4.18 estão ilustradas as variações da taxa de crescimento relativo (TCR), em função do número de dias após sementeira (DAS). No início do ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, o valor observado da taxa de crescimento relativo da cultivar BRS 201 chegou a atingir 0,4042 (g/g)/dia, mas, logo em seguida, iniciou um comportamento decrescente até o final do ciclo fenológico da cultura. A diminuição da TCR com o crescimento e desenvolvimento das plantas pode ser explicada, em parte, pelo aumento gradual de tecidos não assimilatórios (Silva, 1995). De acordo com Benincasa (1988) a relação existente entre a taxa de crescimento relativo (TCR), razão de área foliar (RAF) e taxa de assimilação líquida (TAL), pode ser definida da seguinte forma: $TCR = RAF \times TAL$. Com base nesta definição, pode-se concluir preliminarmente, que a taxa de crescimento relativo de uma comunidade vegetal pode ser alterada por fatores que afetem a eficiência ou a dimensão relativa do sistema assimilador, ou ambos.

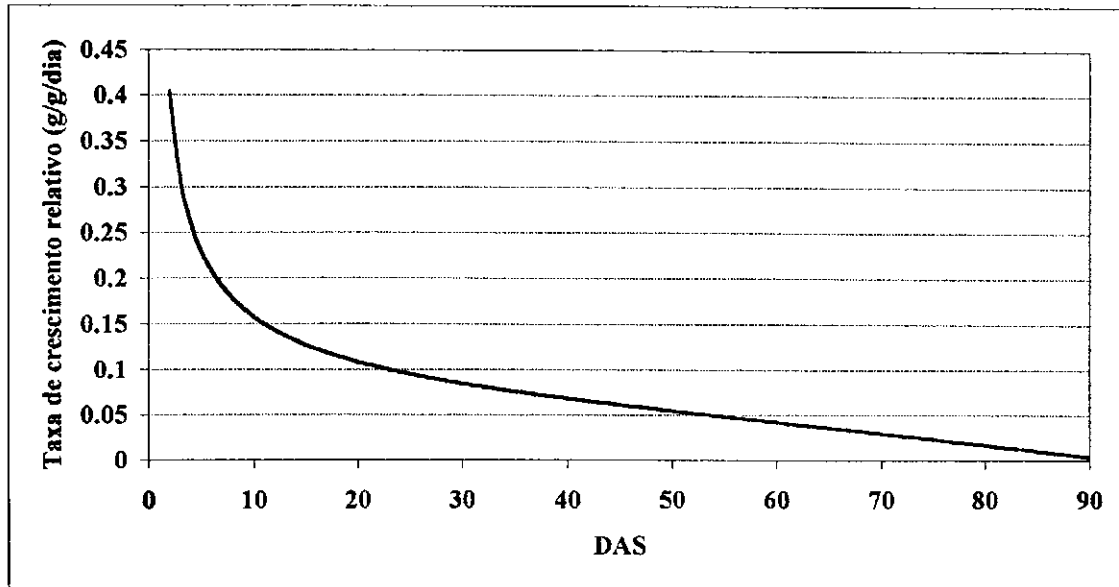


Figura 4.18 - Taxa de crescimento relativo (TCR) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS201.

O comportamento descrito pela curva da taxa de crescimento relativo do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, em função do número de dias após semeadura, é compatível à obtida por outros autores (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Beltrão et al., 2000 e Nóbrega et al., 2001), para a cultura do algodoeiro herbáceo.

4.8.2.3 - Taxa de assimilação líquida – (TAL)

A taxa de assimilação líquida (TAL) reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvido na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida (Magalhães, 1979). Ela depende de fatores ambientais, principalmente da radiação solar e do índice de área foliar (Silva, 1995).

Os valores médios semanais da taxa de crescimento absoluto (TCA), obtidos a partir das medições semanais de peso seco (PS) e área foliar da planta (AFP), estão apresentados na Tabela 4.9, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.19.

A partir da Tabela 4.9, observa-se que os valores semanais da taxa de assimilação líquida do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram obtidos, a exemplo das

demais características do crescimento, a partir do 35 dias após semeadura. Durante este período, a TAL máxima medida foi de $0,0018 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$, observado aos 42 dias após semeadura, embora a média tenha se situado em torno de $0,0005 \pm 0,0007 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$.

A trajetória descrita pela TAL foi decrescente durante quase todo o ciclo fenológico do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, com exceção do período compreendido entre os dias 14 e 33 após semeadura. No início do ciclo fenológico a taxa de assimilação líquida alcançou seu valor máximo observado de $0,0043 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$, porém, 13 dias depois, a TAL já assumia o valor de $0,0013 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$. No período compreendido entre os dias 14 e 33 após semeadura, a TAL permaneceu constante e, logo em seguida, decresceu até o final do ciclo fenológico da cultura. Nóbrega et al. (2001) constataram em seus estudos que a taxa de assimilação líquida máxima observada do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 187 8H, foi de $0,0055$ e $0,0015 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$, respectivamente, nos tratamentos em que as plantas foram irrigadas com água de esgoto sanitário tratado em tanques sépticos (T1) e com água de abastecimento (T2). De acordo com os autores, as diferenças observadas nos valores da TAL entre os tratamentos T1 e T2, indicam que no tratamento T1 irrigado com água de esgoto tratada houve uma proporcional elevação da fotossíntese líquida, em função, principalmente, do aumento da área foliar. Este aumento implica em uma maior interceptação de energia luminosa, com maior assimilação de carbono, aliada, provavelmente, a uma maior absorção de nutrientes disponível na água. Conforme Beltrão & Cavalcanti (1989) a taxa de assimilação líquida atingiu os valores máximos observados de $0,0021$ e $0,0023 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$ no período de 45 a 60 dias e de 60 a 75 dias após emergência, respectivamente, reduzindo-se para $0,00025 \text{ (g/cm}^2\text{)/dia}$, no período de 75 a 90 dias da emergência da cultura.

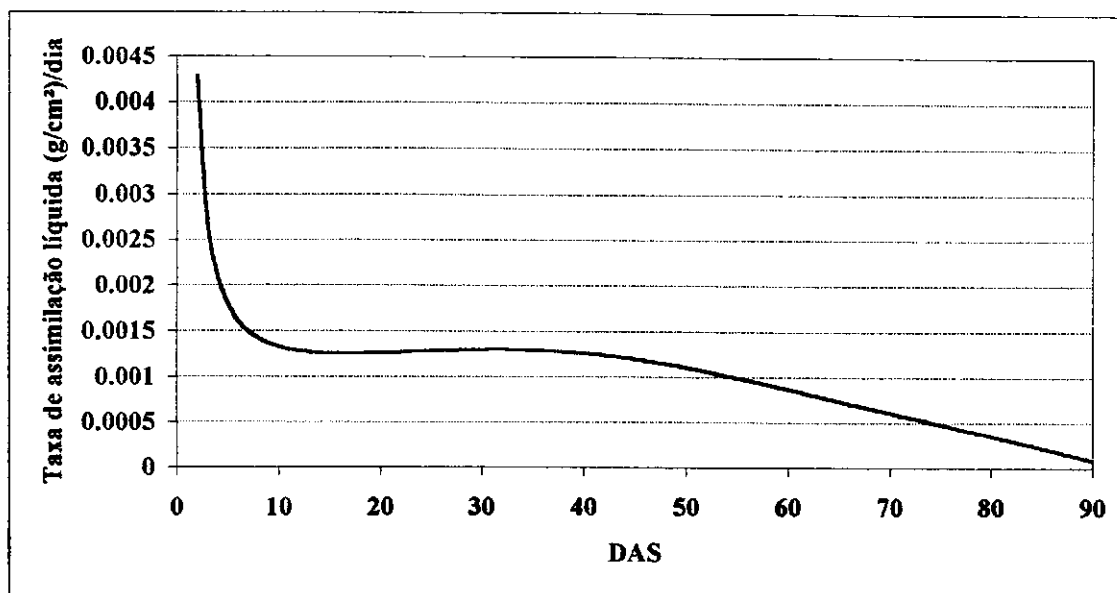


Figura 4.19 - Taxa de assimilação líquida (TAL) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS201.

O comportamento descrito pela curva da taxa de assimilação líquida do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, em função do número de dias após semeadura, é compatível à obtida por outros autores (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Beltrão et al., 2000 e Nóbrega et al., 2001), para a cultura do algodoeiro herbáceo.

4.8.3 - Índice de área foliar – (IAF)

O índice de área foliar descreve a dimensão do sistema assimilador de uma comunidade vegetal. Através do IAF, é possível avaliar o potencial de rendimento de uma cultura, com base no aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa (Benincasa, 1988).

Os valores médios semanais do índice de área foliar do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, estão apresentados na Tabela 4.9, enquanto que as suas variações em função do número de dias Juliano (DJ), estão ilustradas na Figura 4.20.

Através da Tabela 4.9, observa-se que os valores do índice de área foliar do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foram obtidos semanalmente. Suas medições foram iniciadas no dia 28 após semeadura e finalizadas na última semana do quarto estágio, isto é, 112 DAS. No decurso do ciclo fenológico da cultivar BRS 201, o índice foliar máximo

medido foi $3,22 \text{ m}^2/\text{m}^2$, observado aos 84 dias após sementeira, embora sua média tenha se situado em torno de $1,92 \pm 0,97 \text{ m}^2/\text{m}^2$. De acordo com Beltrão et al. (1990) a área foliar por planta do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, atingiu valor máximo medido aos 75 dias da emergência, fornecendo um índice de área foliar de $5,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Silva et al. (1998) observaram índices de área foliar máximo de 3,89 e $3,23 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$, a partir da 14^a, para o tratamento não estressado e estressado, respectivamente. De acordo com os autores, a diferença do IAF entre os tratamentos, pode ser atribuída ao estresse hídrico.

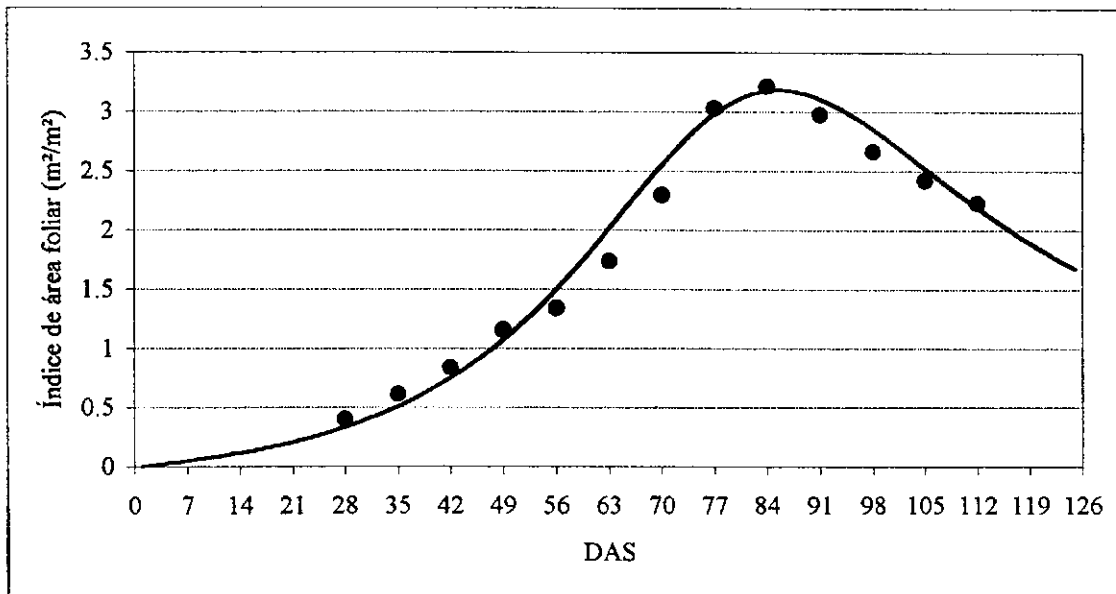


Figura 4.20 - Comportamento diário do índice de área foliar (IAF) do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201.

A trajetória descrita pela curva do índice de área foliar é compatível à obtida por outros autores para a cultura do algodoeiro herbáceo (Beltrão & Cavalcanti, 1989; Silva et al., 1998; Beltrão et al., 2000 e Nóbrega et al. 2001). As variações ocorridas nos valores do índice de área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, durante o ciclo fenológico da cultura, pode ser mais bem compreendidas, se forem estudadas em três etapas distintas, quais sejam: uma inicial, intermediária e final.

A primeira etapa durou aproximadamente 30 DAS e reuniu as fases I e parte da II. As variações ocorridas no índice de área foliar das plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar

BRS 201, durante esta etapa, foram pequenas, haja vista que, as germinações das plantas ocorreram nove DAS. No decurso deste período, o índice de área foliar máximo observado foi de apenas $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Conforme Beltrão et al. (1990) o índice de área foliar do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, nos primeiros 30 dias após emergência, atingiu valor máximo observado de $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Na etapa intermediária que comportou a terceira fase e uma pequena parte da quarta, durou aproximadamente 56 dias, estendendo-se dos 31 aos 86 dias após semeadura. No decurso desta etapa, o índice de área foliar do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, atingiu seu valor máximo observado de $3,18 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Beltrão et al. (1989) verificaram que o índice de área foliar observada do algodoeiro herbáceo, cultivar Precoce 1, foi máximo de $5,53 \text{ m}^2/\text{m}^2$, observado aos 75 dias após emergência.

A etapa final teve início aos 84 dias após semeadura, período em que as plantas do algodoeiro herbáceo atingiram suas áreas foliares máximas observadas, e conseqüentemente, os índices de áreas foliares máximo, para logo em seguida, assumirem valores decrescentes até o final do ciclo fenológico. Esse comportamento está associado a vários fatores. De acordo com Benincasa (1988) à medida que a área foliar cresce o índice de área foliar também cresce, até que atingirá um valor, a partir do qual o autosombreamento passa a ser prejudicial, aumentando o número de folhas (ou superfície foliar) que são mantidas sob iluminação precárias, o que diminui bastante sua eficiência fotossintética. Conforme Magalhães (1979), durante este período, a planta inicia uma fase de senescência, que se reflete, inicialmente, na paralisação da produção de matéria orgânica, bem como, a queda brusca de folhas da planta.

4.8.4 - Características intrínsecas da fibra do algodão

Existem, na natureza, diversas plantas têxteis de valor considerável para a produção de fibras, fios, malhas, tecidos e confecções; no entanto, no universo dessas plantas, o algodão se destaca em razão dos méritos indiscutíveis de sua fibra.

O Brasil já possui o maior parque têxtil da América Latina e, desde muito tempo, utiliza tecnologias de ponta nas indústrias e nos processos de fiação. Neste aspecto,

Existem, na natureza, diversas plantas têxteis de valor considerável para a produção de fibras, fios, malhas, tecidos e confecções; no entanto, no universo dessas plantas, o algodão se destaca em razão dos méritos indiscutíveis de sua fibra.

O Brasil já possui o maior parque têxtil da América Latina e, desde muito tempo, utiliza tecnologias de ponta nas indústrias e nos processos de fiação. Neste aspecto, torna-se indispensável que o algodão produzido no Brasil atenda as novas exigências da indústria têxtil nacional, quais sejam: comprimento comercial da fibra na faixa de 30/34 mm; uniformidade 45/46%, finura 3,4/4,2 $\mu\text{g}/\text{in}$, resistência $> 26 \text{ gf}/\text{tex}$, alongamento $> 7,0\%$, índice de fibras curtas $< 3,5\%$, índice de fiabilidade 2000/2500, grau de amarelamento (+b) $< 10,0$ e refletância (Rd) $> 70\%$.

Tabela 4.10 - Quantidade de partículas interpretadas como impureza (CNT), comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibra curta (SFI), resistência (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice micronaire (NIC), grau de amarelamento (+b) e índice de fiabilidade (CSP).

Est.	P/C	P/P	% Fibra	P/IC	CNT	UHM mm	UNF %	SFI	STR gf/tex	ELG %	MIC	Rd %	+d	CSP
max	117,0	47,0	41,3	5,9	15,0	31,1	88,2	4,0	27,8	11,0	4,9	80,5	9,7	2361
med	106,5	42,0	39,3	5,3	4,0	30,0	85,8	3,5	23,2	9,9	4,6	79,2	9,1	2220
mín	98,0	36,0	36,7	4,9	2,0	28,8	84,8	3,5	20,6	8,6	4,1	74,9	8,2	2146
desP	5,2	2,6	1,2	0,3	2,6	0,7	0,9	0,1	1,5	0,5	0,2	1,2	0,4	48,7

A partir do resultado da análise das dez amostras padrão realizado pelo Laboratório de Tecnologia de Fibras e Fios da Embrapa – Algodão (Tabela 4.10), através do equipamento HVI (Instrumento de elevado volume), observa-se que as características tecnológicas da fibra do algodão estudado atingiram as seguintes categorias: o comprimento atingiu a categoria de faixa longa (28,9–30,5 mm), a uniformidade obteve a categoria uniforme (83–85%), a resistência da fibra foi considerada fraca (23–26 gf/tex), o índice de fiabilidade foi considerado médio (2.000–2.250), o alongamento atingiu a categoria muito alto (acima de 7,6 %) e o índice micronaire foi considerado médio (4,0–4,9 $\mu\text{g}\cdot\text{pol}^{-1}$). Em outras palavras, isto significa dizer que se trata de um algodão de cor branca (cor grade variando de

Santana et al. (2001) estudaram dez características da fibra de doze genótipos de algodoeiro herbáceo (CNPA 7H, CNPA ITA 96, BRS Antares, EPAMIG Precoce 1, IAC 96-280, IAC 96-319, OCEPAR 94-550, OCEPAR 96-277, DP 4025, DP 4049, Delta Opal e Deltapine Acala 90) durante um experimento de campo realizado em Caruaru-PE, em 1999. Após o beneficiamento das amostras-padrão em máquinas de rolo, as amostras de pluma foram climatizadas por 24 horas, no Laboratório de Tecnologia de Fibras e Fios da Embrapa Algodão. Em seguida, foram feitas as análises das onze características intrínsecas da fibra (comprimento, uniformidade de comprimento, finura, resistência, alongamento, índice de fibras curtas, fiabilidade, grau de amarelamento, grau de refletância e classe de cor) a partir do equipamento HVI (High Volume Instruments). Levando em consideração as onze características físicas da fibra das seis linhagens e seis cultivares de algodão herbáceo, os autores constataram que a cultivar BRS Antares e a linhagem DP 4049, apresentaram fibras de comprimento comercial médio, ou seja, 30/32 mm e os demais materiais fibras na categoria longa, variação de 32/34 mm e 34/36 mm, todas com fibras muito uniformes e índice variando de 84,1% a 86,2%. À exceção da cultivar Deltapine Acala 90 e linhagens OCEPAR 96-276, DP 4025 e DP 4049 que têm fibras na categoria fina, ou seja, variação de 3,7 $\mu\text{g}/\text{in}$, os demais materiais têm fibras na categoria média, isto é, variação de 4,0 $\mu\text{g}/\text{in}$ (EPAMIG Precoce 1) a 4,4 $\mu\text{g}/\text{in}$ (CNPA ITA 96, IAC 96-280). Com relação a resistência da fibra, verifica-se que, com exceção d cultivar BRS Antares, que apresentou fraca resistência, 26,0 gf/tex , os outros materiais possuem fibra variando de média resistência a forte (Deltapine Acala 90 com 31,7 gf/tex e Delta Opal com 32,2 gf/tex). À exceção da Deltapine Acala 90, que apresentou fibra de coloração ligeiramente amarelada, ou seja, classe de cor 12, os demais materiais têm fibra de coloração creme, classe de cores 13 e 23. As onze linhagens e cultivares avaliados possuem fiabilidade na categoria média, em razão dos índices médios de fiabilidade variarem de 2034 BRS Antares a 2182 OCEPAR 96-276.

Santana et al. (2001) estudaram onze características intrínsecas da fibra de dez cultivares de algodão herbáceo, selecionados por instituições de pesquisas de países do Mercosul: Argentina, Bolívia, Brasil e Paraguai. O ensaio foi conduzido na Estação Experimental de Ipanguaçu-RN, no ano de 1999. As cultivares utilizadas no ensaio têm as seguintes origens: IAN 338 e IAN 93-64, obtidas pelo PIEA, do Paraguai; Chaco 520 e

Santana et al. (2001) estudaram onze características intrínsecas da fibra de dez cultivares de algodão herbáceo, selecionados por instituições de pesquisas de países do Mercosul: Argentina, Bolívia, Brasil e Paraguai. O ensaio foi conduzido na Estação Experimental de Ipanguaçu-RN, no ano de 1999. As cultivares utilizadas no ensaio têm as seguintes origens: IAN 338 e IAN 93-64, obtidas pelo PIEA, do Paraguai; Chaco 520 e Cacique, isoladas pelo INTA da Argentina; CCA 331, desenvolvida pelo ADEPA, da Bolívia; OC 94-146, OC 95-621 e CD 401, selecionadas pela COODETEC, do Paraná, IAC 96-280, desenvolvida pelo Instituto Agronômico de Campinas, e a CNPA 7H, sintetizada pela Embrapa Algodão. Após a colheita do algodão, as amostras padrão permaneceram em ambiente climatizado do Laboratório de Tecnologia de Fibras e Fios da Embrapa Algodão, pelo período de 24 horas antes de se determinar, no HVI, as características intrínsecas da fibra. De acordo com os resultados obtidos, as cultivares em teste apresentaram comprimento comercial de fibra na faixa de médio, 30/32 mm, a longo 34/36 mm, e excelente índice de uniformidade de fibra, com variação desse parâmetro na faixa de 83,7% (CNPA 7H) e 86,7% (OC 92-146). À exceção das cultivares CNPA 7H, Cacique e CCA 331, que têm fraca resistência de fibra e variação de 25,9 gf/tex a 26,8 gf/tex, os demais materiais apresentaram média resistência, na faixa de 27,3 gf/tex (IAC 96-280) a 30,9 gf/tex (Chaco 520). Todos os materiais apresentaram baixo índice de fibras curtas, cujas médias variaram de 3,5% (Chaco 520, OC 92-146 e OC 95-621) a 7,2% (CNPA 7H).

4.8.5 - Produção

Tabela 4.11 - Número de amostras (NA), amostra padrão (AP), primeira colheita (PC), segunda colheita (SC) e número de capulhos (NC).

NA	AP (g)	PC (g.5m ⁻²)	SC (g.5m ⁻²)	Total (g.5m ⁻²)	Total (Kg.ha ⁻¹)
1	105,0	1.700,0	500,0	2.305,0	4.610,0
2	100,0	1.000,0	380,0	1.480,0	2.960,0
3	103,0	1.100,0	350,0	1.553,0	3.106,0
4	100,0	800,0	410,0	1.310,0	2.620,0
5	110,0	500,0	400,0	1.010,0	2.020,0

De acordo com a Tabela 4.11, o rendimento médio do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, foi de 3.014,6 kg.ha⁻¹ de pluma. Bezerra & Luz (2001) obtiveram rendimentos máximos para o algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, da ordem de 3.994 e 3.976 kg.ha⁻¹, respectivamente, quando submeteram a cultura ao estresse hídrico na fase de desenvolvimento vegetativo e de 3.394 e 1.996 kg.ha⁻¹, respectivamente, quando submeteram a cultura ao estresse hídrico na fase que abrangeu a floração e parte da frutificação. Os autores concluíram que em situação de escassez de água, pode-se manejar a irrigação do algodoeiro durante suas fases de crescimento e desenvolvimento, de maneira a suprir suas carências hídricas nas fases de maior demanda, com garantia de safra acima dos 2.500 kg.ha⁻¹.

5. CONCLUSÕES

Baseado nas análises dos dados obtidos nos experimentos de campo com o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium* Hutch.), cultivar BRS 201, no período de agosto a dezembro de 2001 e 2002, respectivamente, no Campo Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Algodão), localizada no município de Barbalha – CE, concluiu-se que:

- a. As diferenças entre os valores da evapotranspiração de referência, estimada através dos métodos Tanque Classe A e FAO-Penman-Monteith, foram pequenas. No entanto, recomenda-se o método da FAO – Penman - Monteith, por ser universal e apresentar base física mais sólida. Porém, caso não seja possível a sua utilização, em função da não disponibilidade de dados meteorológicos, pode-se utilizar o método do Tanque Classe A, desde que feitos os ajustes locais.
- b. Os lisímetros de drenagem proporcionam medições confiáveis da evapotranspiração da cultura, contanto que instalados e mantidos adequadamente.
- c. O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen mostrou-se muito útil na estimativa da evapotranspiração da cultura estudada, proporcionando valores horários e diurnos da ETc, desde que adotadas determinadas providências, tais como: manutenção de altura mínima de 1,0 m entre os psicrômetros; manutenção do nível de água nos reservatórios de abastecimento dos psicrômetros de pelo menos 50 % do seu nível máximo; troca periódica dos cadarços de transporte de água dos psicrômetros;

definição de critérios de correção e/ou exclusão de valores duvidosos da razão de Bowen.

- d. O coeficiente de cultura obtido a partir da combinação de ET_c estimada através do método do Balanço de energia baseado na razão de Bowen e ET_o segundo o método FAO - Penman-Monteith, parece ser o mais preciso e o que melhor se adapta as condições da região do Cariri cearense, haja vista que, além de serem de aplicação universal, apresentam base física mais sólida.
- e. Os valores mínimo e máximo da evapotranspiração da cultura medidos e estimados, durante o ciclo fenológico, foram de 1,80 (5,80) e 2,06 (7,11) mm/dia respectivamente. As médias de ET_{cL} e ET_{cBERB} ficaram em torno de 5,34 e 5,77 mm/dia, respectivamente. Já o consumo total de água pelas plantas do algodoeiro herbáceo, medido e estimado, foi de aproximadamente 450,90 e 512,37 mm, respectivamente.
- f. As plantas do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, atingiram altura máxima média medida de 96,50 cm, fitomassa seca de 123,49 g e área foliar 5.145, 60 cm^2 , aos 84 dias após plantio. As taxas de crescimento absoluto, relativo, de assimilação líquida alcançaram valores máximos medidos de 4,39 g/dia, 0,1181 (g/g)/dia, 0,0018 g/cm^2 /dia.
- g. O rendimento médio da cultura foi de 3.014,60 $Kg.ha^{-1}$.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A., ALFARO, A. & SMITH, M. Lysimeters. Roma: FAO, 1982. 68p. (Irrigation & Drainage paper, 39).
- ALBERT, W. B. & ARMSTRONG, G. M. Effects of high soil moisture and lack of soil aeration upon fruiting behaviour of young cotton plants. **Plant. Physiology**. Bethesda, 1931. v.65, p. 585 – 91.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de., ANDRADE JUNIOR, A. S. de., SOUZA, F. de., et al. Irrigação & Tecnologia Moderna (ITEM). Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. n° 52/53. 4° trimestre de 2001 / 1° trimestre 2002.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 301p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G., JENSEN, M. E., WRIGHT, J. L. et al. Operation estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**. Madison, 1989. v. 81, p. 650 – 662.
- ALMEIDA, O. A. de., BELTRÃO, N. E. de M., GUERRA, H. O. C. Crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo em condições de anoxia do meio edáfico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1259-1272, 1992.
- ALMEIDA, O. A. de. Efeito do encharcamento do solo no crescimento desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo. Campina Grande: 1987. 71p. (Dissertação de Mestrado).
- AMORIM, M. C., SEDIYAMA, G. S., SOBRINHO, J. E., et al. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque Classe A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 683 – 685.

- AMORIM NETO, M. da S & BELTRÃO, N. E. de M. Determinação da época de irrigação em algodoeiro herbáceo por via climatológica. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 1992. 17p. (Embrapa - CNPA. Comunicado Técnico, 34).
- ANGUS, D. E. & WATTS, P. J. Evapotranspiration – How good is the Bowen ratio method. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, 1984. v.8, p.133 - 150.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL (São Paulo, SP) Carta ABIT 2000. São Paulo, 2000. 44p.
- ALVES, A. V. Balanço de radiação e de energia em um cultivo de melão. Campina Grande: 1997. 95p. (Dissertação de Mestrado).
- ÁVILA NETTO, J. Necessidades hídricas da videira européia. Campina Grande: 1997. 85p. (Dissertação de Mestrado).
- ALVES, A. V., AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação num cultivo de melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p.520.
- AZEVEDO, P. V. de, SILVA, B. B. da, SOBRINHO, J. E., et al. Balanço de radiação em caatinga no semi-árido nordestino. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 44 - 46
- AZEVEDO, P. V. de A., RAMANA RAO, T. V., AMORIM NETO, M. da SILVA et al. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1993. v. 28, n. 7, p. 863 – 870.
- AZEVEDO, P. V. de A., RAMANA RAO, T. V., AMORIM NETO, M. da SILVA et al. Estimativa do consumo hídrico de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 229 – 231.
- BARREIRO NETO, J., SOUZA, J. G. de, SOBRINHO, R. B. et al. Arquitetura da planta e queda de botões, flores e frutos, em algodoeiro herbáceo tolerante à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1983. v. 18, n. 10, p. 1.085 – 1.088.
- BARRETO, A. N., SILVA, C. A. D. da, VIEIRA, D. J., et al. O agronegócio do algodão no Brasil / Embrapa Algodão – Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999. p. 648 - 649.

- BARRETO, A. N., BELTRÃO, N. E. de M., BEZERRA, J. R. C., et al. Configuração de plantio na cultura do algodoeiro herbáceo irrigado por sulcos. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 1994. 7p. (Embrapa – CNPA. Pesquisa em Andamento, 18).
- BELTRÃO, N. E. de M., FIDELIS FILHO, J., SOUZA, J. G. de. Produtividade, qualidade de fibra e análise do crescimento com estimativa da respiração, do algodão perene 7MH, nas condições ecofisiológicas do seridó paraibano, comparado a CNPA 5M. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 2000. v.4, n. 1, p.13 - 21.
- BELTRÃO, N. E. de M. O agronegócio do algodão no Brasil. Fisiologia da germinação. Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. Brasília, 1999. 2v, p.106.
- BELTRÃO, N. E. de M. & SOUZA, J. G. Informações gerais sobre a cotonicultura em vários Estados da federação: safras 1995/96 e 1996/97. Embrapa – CNPA. Campina Grande, 1998. 37p. (Embrapa – CNPA. Documentos, 59).
- BELTRÃO, N. E. de M., AZEVEDO, D. M. P. de, NÓBREGA, L. B. da. Modificação no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1997. v. 32, n. 7, p. 391 – 397.
- BELTRÃO, N. E. de M. NÓBREGA, L. B. da., VIEIRA, D. J., et al. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo de curta duração cultivar CNPA Precoce, no Sertão paraibano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1990. v. 25, n. 7, p. 991 – 1001.
- BELTRÃO, N. E. de M., CAVALCANTI, M. A. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1, no semi-árido paraibano e suas relações com o bicudo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1989. 8p. (Comunicado Técnico, 32).
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas. Boletim Informativo, FUNEP, Jaboticabal – SP, 1988. 42p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5ª. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária. 1989. 596p.
- BEZERRA, J. R. C., BARRETO, A. N., SILVA, B. B da., et al. consumo hídrico do algodoeiro herbáceo. In: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1995. p. 151 – 154. (Relatório Técnico Anual, 1992 – 1993).
- BEZERRA, J. R. C., AMORIM NETO, M. da S., AZEVEDO, P. V. de., et al. Estimativa do consumo hídrico do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA Precoce 1. In: EMBRAPA,

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1992. p. 218 – 221. (Relatório Técnico Anual, 1990 – 1991).

- BLACKMAN, G. E. The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. In: ECKARDT, F. E. ed. Functioning on terrestrial ecosystems at the primary production level. Paris: Unesco, 1968. P. 243 – 359.
- BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. *Annals of Botany*. 1919. v. 33, p. 353 – 360.
- BOLSA DE MERCADORIAS & FUTUROS. (São Paulo, SP). Estatísticas do mercado físico de algodão: Janeiro de 1990 a dezembro de 1999. São Paulo, 1999. 65p.
- BRIGGS, G. E., KIDD, F. A., WEST, C. A. A quantitative analysis of plant growth. *Annals of applied Biology*, 1920. v. 7, p. 202 – 223.
- BROWN, H. B., WARE, J. O. Cotton. New York: McGraw-Hill Book, 1961. 623p.
- BURBA, G. G., VERMA, S. B., KIM, J. Surface energy fluxes of phragmites australis in planie wetland. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, 1999. v. 94, p. 31 - 51.
- BURMAN, R. D., LARAMIE, W. Y., NIXOX, P. R., et al. Water requirements. In: JENSEN, M. E. (ed). Design and operation of farm irrigation systems. Michigan, ASAE, Monograph. 1983. n. 3, p. 189 – 255.
- CALBO, A. G., SILVA, W. L. C., TORRES, A. C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*. Brasília, 1989. v. 1, n. 1, p. 1 – 7.
- CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Boletim Técnico n. 116, 1971, IAC. 24p.
- CAMPOS, R. T. Efeitos do ataque do bicudo na cotonicultura do semi-árido cearense. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1991. 160p.
- CANDIDO, L. A. Avaliação das necessidades hídricas e manejo de irrigação da cultura do amendoim. Campina Grande: 1998. 75p. (Dissertação de Mestrado).
- CARTA TÊXTIL, São Paulo. Disponível: www.rgm.com.br/sinditextil/carta/index.htm. Consultado em: 20 de maio de 1999.
- CARVALHO, P. P. Manual do algodoeiro. Lisboa, 1996. 282p.
- CHIEW, F. H. S., KAMALADASA, N. N., MALANO, H. M., et al., Penman-Monteith, FAO – 24 reference crop evapotranspiration and Class – A pan data in Australia. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 9 – 12, 1995.

- CORRÊA, J. R. V. Algodoeiro. Informações básicas para o cultivo. EMBRAPA – UEPAE. Belém, 1989. 29p.
- CORNEJO, A. et al. Evolucion de um sistema de riego por surcos en algodón. Anales Científicos. Lima, 1963. v.1, p.40 – 61.
- COSTA, J. N. da. BRS 201 Nova cultivar de algodoeiro herbáceo para as condições do Nordeste. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Embrapa – algodão. Campina Grande, 2000 (Folder).
- COTTON WORLD STATISTICS, Washinton. ICAC, 1997. p. 11 – 12.
- CUNHA, G. R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M. A., et al. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1 – 14, 1996.
- DEVITT, D. A., SALA, A., SMITH, S. D., et al., Bowen ratio estimates of evapotranspiration for *Tamarix ramosissima* stands on the Virgin River in southern Nevada. *Water Resources Research*, Washington, v. 34, n. 9, p. 2407 – 2414, 1998.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. Yield response to water. Roma: FAO, 1979. (Irrigation & Drainage paper, 33). 193p.
- DOORENBOS, S. J., PRUITT, W. O. Crop Water Requirements. Roma. 1977. (FAO Irrigation and Drainage paper, 24). 179p.
- DOORENBOS, S. J. & PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requeriments. Roma. 1975. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2ª edição). 180p.
- DUGAS, W. A., HICKS, R. A., WRIGHT, P. Effect of removal of *Juniperus ashei* on evapotranspiration and runoff in the Seco Creek watershed. *Water Resources Research*. Washington, 1998. v. 34, n.6, p.1.499 - 1.506.
- EMBRAPA: Atlas do meio ambiente do Brasil. Ed. Terra viva. Brasília, 1994. 130p.
- FEDERACION NACIONAL DE ALGODONEROS (Bogotá). Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colômbia. Bogotá, 1990. 714p.
- FERREIRA, L. G. R., SOUZA, J. G. de., PRISCO, J. T. Effects of water deficit on proline accumulation and growth of two cotton genotypes of different drought resistances. *Biol. S.* 1979. p. 189 - 199.
- FRONZA, D., FOLEGATTI, M. V., MEGALE, P. et al. Determinação do kc da estévia através de microlisímetro de lençol freático constante. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, Fortaleza, 2001. *Anais...* Fortaleza, 2001. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. p. 439 - 440.

- FROTA, R. N. B. Comportamento fisiológico e morfológico da cultura do algodão herbáceo irrigado nas condições semi-áridas do Nordeste brasileiro. Campina Grande: 1994. 77p. (Dissertação Mestrado).
- GAY, L. W. A portable Bowen ratio system for evapotranspiration measurements. Proceedings, National Conference. **Irrigation and Drainage**. New York, 1988. p. 625 - 632.
- HEILMAN, J. L., MCLNNES, K. J., SAVAGE, M. J. et al. Soil and canopy energy in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, 1994. v.71, n.1, p. 99 - 114.
- HEILMAN, J. L.; BRITTIN, CX. L. & NEALE, C. M. U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, 1989. v.44, p. 261 - 273.
- HSIAO, T. C., ACEVEDO, E., FERERES, E., et al. Stress metabolism. Water stress growth and osmotic adjustment. *Philos. London*, 1976. *Transc. R. Soc.* p. 479 - 500.
- HSIAO, T. C. Plant responses water stress. *Annual. Ver. Plant Physiology*. 1973. v. 24, p. 519 - 570.
- HUCK, M. G. Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. **Agronomy Journal**. Madison, 1970. v. 62, p. 818 - 828.
- JENSEN, M. E., WRIGHT, J. L., PRATT, B. J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transf. of the ASAE*, 1971. v. 14, n. 5, p. 954 - 959.
- KAKIDA, J., MARINATO, R. Irrigação do algodoeiro. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte, 1982. v. 8, n. 92, p. 75 - 81.
- KRAMER, P. J. *Plant and soil water relationships. A modern synthesis*. McGraw-Hill. New York, 1969.
- LOPES, P. M. O. Evapotranspiração da mangueira na região do Sub-médio São Francisco. Campina Grande: 1999. 108p. (Dissertação Mestrado).
- LUZ, M. J. Da S. S., BEZERRA, J. R. C., BARRETO, A. N. et al. Efeito da deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade da fibra do algodoeiro. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 1997. v.1, n. 1, p.125 - 133.
- LUZ, M. J. Da S. S., BEZERRA, J. R. C., BARRETO, A. N. et al. Efeito do estresse hídrico em diversas fases do ciclo do algodoeiro sobre a fenologia e a eficiência do uso de água da cultivar BR 1, em Condado, PB. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 1998. v.2, n. 3, p. 209 - 214.

- MACHADO, F. C., PEREIRA, R. A., FAHL, J. I., et al. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Revista Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1982. v. 7, n. 6, p. 825 – 833.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Coordenador). *Fisiologia vegetal 1*. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p. 331 – 350.
- MARANI, A. & ASMIRAV, A. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. *Expl. Agric. London*, 1971. v.3, p. 213 – 224.
- McCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, 1972, v.10, p. 443 – 445.
- MELO FILHO, G. A., RICHETTI, A. de. Aspectos socioeconômicos do algodoeiro. Algodão tecnologia de produção. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, MT, 2001. 296p.
- MILLAR, A. A. Respuesta de los cultivos al déficit de agua como información básica para el manejo del riego. EMBRAPA – CPATSA. Petrolina, 1976. 62p.
- MIRANDA, J. H. de., PIRES, R. C. de M. Irrigação. Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP). Piracicaba, 2001. 410p.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY. London, 1964. Cambridge: Cambridge University Press, 1965. n. 9, p. 205 – 234.
- MOURA, M. S. B. Fenologia e consumo hídrico da goiabeira irrigada. Campina Grande: 2001. 124p. (Dissertação de Mestrado).
- NÁPOLES, F. A. de M., AMORIM NETO, M. da S., SILVA, L. C., et al. Supressão da irrigação no algodoeiro: Impacto sobre o rendimento e tecnologia de fibra. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 1999. v.3, n. 1, p.55 - 60.
- NÓBREGA, J. Q., FIDELIS FILHO, J. BELTRÃO, N. E. de M. et al. Análise de crescimento do algodoeiro irrigado com água de esgotos tratados e de abastecimento. In: III Congresso Brasileiro de Algodão. Campo Grande, MS, 2001. p. 431 – 434.
- OLIVEIRA, F. de A., CAMPOS, T. G. da S., SANTOS, J. W. dos., et al. Níveis de umidade no solo sobre rendimento da cultura do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 1990. v. 25, n. 12, p. 1775 – 1779.
- OLIVEIRA, G. M. Advecção sobre um cultivo de amendoim irrigado. Campina Grande: 1998. 111p. (Dissertação de Mestrado).

- OLLALA MAÑAS, M. De S. & JUAN VALERO, J.A. **Agronomia del riego**. Mundi – Prensa. Madrid, 1993. 732p.
- OLIVEIRA, D., FARIA, R. T. Efeitos da deficiência hídrica em diferentes fases do ciclo do feijão de outono. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10, Salvador, 1994. *Anais ...* 1994. p. 127-133.
- OLIVEIRA, F. de A. Determinação da época do plantio e uso consuntivo do algodoeiro herbáceo no sub-médio São Francisco. Campina Grande: 1976. 79p. (Dissertação de Mestrado).
- OLIVEIRA, F. de A. SILVA, J. J. S. Uso consultivo e desenvolvimento radicular do algodoeiro herbáceo. EPABA. Salvador, 1987. 22p. (Boletim de Pesquisa 08).
- OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **American Meteorological Society**. 1982. p. 595 - 598.
- PASSOS, S. M. de G. Algodão. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, 1977. 424p.
- PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R. SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2001. 480p.
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. São Paulo, 1997. 183p.
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., PEREIRA, A. S., et al. A model for the Class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, 1995. v. 76, p. 75 – 88.
- PEREIRA, M. do N. B. Comportamento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium* Hutch) em baixos níveis de água disponível do solo. Campina Grande: 1995. 109p. (Dissertação de Mestrado).
- PERES, J. G. Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1994. 116p. (Tese de Doutorado).
- PEREZ, P. J., CASTELLVI, F., IBAÑEZ, M., et al., Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141 – 150, 1999.
- POTKILE, N. N., DHOPTÉ, A. M., SHASTRI, N. R. Pattern of root growth analysis in *hirsutum* and *arborescens* cottons in response to short term water stress imposed during reproduction. **Irrigation and Drainage**. New York, 1989. v. 15, n. 3, p. 244.
- PRIMAVESI, A. A agricultura em regiões tropicais. O manejo ecológico do solo. Editora Nobel. São Paulo, 1982. p. 46 – 85.

- PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L.; KRISTIAN AESE, J.; PIKUL, Jr. J. L. Bowen - ration comparisons with lysimeter evapotranspiration ***Agronomy Journal***. Madison, 1997. v. 89, p.730 – 736.
- REICHARDT, K. Processo de transferência no sistema solo – planta - atmosfera. Fundação Cargi. São Paulo, 1985. 466p.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. 1ª edição. Editora Manole Ltda. São Paulo, 1987. 188p.
- RICHETTI, A., MELO FILHO, G. A. de. Aspectos socioeconômicos do algodoeiro. Algodão tecnologia de produção. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, MT, 2001. 296p.
- ROSENBERG, N. J., BLAD, B. L., VERMA, S. B. Microclimate: The biological environment. Nebraska, 1983. 495p.
- ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo cultural do algodoeiro. EMBRAPA: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. Rondonópolis, MT, 1999. 182p.
- SANTANA, J. C. F. de., COSTA, J. N. da., FERRAZ, I., et al. Características intrínsecas da fibra de linhagens e cultivares nacionais de algodão herbáceo. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., 2001, Campo Grande, MS. *Anais...*Campina Grande: Embrapa Algodão; Campo Grande: UFMS; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 1059 – 1061.
- SANTANA, J. C. F. de., VIEIRA, R. de M. COSTA, J. N. da. Características intrínsecas da fibra de cultivares de algodão herbáceo do Mercosul. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., 2001, Campo Grande, MS. *Anais...*Campina Grande: Embrapa Algodão; Campo Grande: UFMS; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 1059 – 1061.
- SANTANA, J. C. F. de., WANDERLEY, M. J. R. Interpretação de resultados de análise de fibra, efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI) e pelo finurímetro-maturímetro (FMT2). Campina Grande: Embrapa - CNPA, 1995. 9p. (Embrapa – CNPA, Comunicado Técnico, 41).
- SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, RS. 1996. v.4, n. 1, p. i - xii.
- SILVA, F. C. da., FOLEGATTI M. V. Balanço de energia na cultura de feijão utilizando um sistema de razão de Bowen. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, Fortaleza, 2001. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 403 – 404.

- SILVA, V. P. R. da. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Campina Grande: 2000. 125p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, L. C., BELTRÃO, N. E. de M., AMORIM NETO, M. da SILVA. Análise do crescimento de comunidade vegetal. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 2000. (Relatório Técnico, 34).
- SILVA, L. C. Taxa de crescimento cultural, resistência estomática e produtividade do amendoim, em condições de irrigação. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 1999, v.3, n.1, p. 61- 64.
- SILVA, L. C. Respostas ecofisiológicas e desempenho agrônomo do amendoim, cultivar BR 1, submetido a diferentes lâminas e intervalos de irrigação. Campina Grande: 1997. 126p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, F. C. Uso de dispositivo lisimétrico para determinação da evapotranspiração de referência. Piracicaba: 1996. 68p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, M. A. V. Análise de crescimento, desenvolvimento e eficiência do uso da radiação solar para dois cultivares de milho. Viçosa: 1995. 63p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, B. B. da S. Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria infravermelha. Campina Grande: 1994. 144p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, M. J. da. , HOLANDA, A. F. de., MATIAS FILHO, J. Necessidades de água de irrigação no cultivo do algodoeiro no Nordeste brasileiro. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Campina Grande, 1988. p.179 - 181. (Relatório Técnico Anual 1985 - 1986).
- SILVA JÚNIOR, N., MAIA, J. C., SANTOS, C. J. G. dos. Relatório da classificação de algodão em pluma importado pelo Estado do Ceará no ano 1998. Secretaria de Desenvolvimento Rural. Fortaleza, CE. 1999. 26p.
- SILVA, B. B. da, SOUZA, C. B. de, RAMANA RAO, T. V. et al. Efeito do déficit hídrico sobre a fenologia e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 1998. v. 2, n. 1, p. 42 - 46.
- SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome FAO, 1991. 45p.
- SIQUEIRA, A. A. Avaliação do microclima em área de caatinga e área reflorestada com algaroba no semi-árido. Campina Grande: 1997. 87p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, J. G. de, BELTRÃO, N. E. de M., SANTOS, J. W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodoeiro em casa de vegetação. **Revista de oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, 1997. v.1, n. 1, p. 63 - 71.

- SOUZA, C. B. de. Estudo de parâmetros morfofisiológicos na cultura do algodoeiro herbáceo em condições diferenciadas de irrigação no vale do Assu, RN. Campina Grande: 1994. 73p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, J. J., AZEVEDO, P. V. de., BASTOS, E. J. B. Variação estacional do coeficiente de cultivo numa cultura de milho irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. Coletânea de trabalhos... Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p. 126 – 129.
- SOUZA, F. A. Efeito do estresse hídrico e da época de plantio na produtividade de três cultivares de algodão herbáceo, sob regime de irrigação no vale do Curu. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 1986. 90p. (Dissertação de Mestrado).
- TACKETT, J. L., PEARSON, R. W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Soil Science Society of America Proceedings, 1964. v.29, n. 5. p. 600 – 605.
- TEIXEIRA, A. H. C., AZEVEDO, P. V. de. SILVA, B. B., et al. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, 1997. v. 5, n. 2, p. 137 - 141.
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955. 104p.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 1948. n. 38, p. 55 – 94.
- TODD, W. R., EVETT, S. R., HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfafa evaluated in semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, 2000. v. 102, p. 335 - 348.
- UNLAND, H. E., HOUSER, P. R., SHUTTLEWORTH, W. J. et al. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonora desert site. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, 1996. p. 119 – 153.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo. 2000. 532p
- VERMA, S. B., ROSENBERG, N. J., BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *Journal of Applied Meteorology*. Boston, 1978. v. 17, n. 1, p. 330 – 338.

- WADDLE, B. A. Crop growing practices. In: KOHEL, R. J., LEWIS, C. F. Cotton. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1984. p. 233 – 263. (Serie Agronomy, 24).
- WAREING, P. F. & PHILLIPS, I. D. J. Growth and differentiation in plants. 3^a Edição, Oxford, England, Pergamon Press, 1981. p142.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*. 1952. v. 4, p. 101 – 145.

7. ANEXOS

Tabela 7.1 – Valores diários da evapotranspiração do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, medidos através de lisímetros de drenagem (ETcL) e estimados a parti do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ETcBERB), da evapotranspiração de referência estimados a partir dos métodos do Tanque Classe A (EToTCA) e FAO – Penman – Monteith (EToFPM) e dos coeficientes de cultivo (Kc), obtidos durante o ciclo fenológico da cultura.

DJ	Evapotranspiração (mm/dia)				Coeficiente de cultivo			
	EToTCA	EToFPM	ETcL	ETcBERB	Kc1	Kc2	Kc3	Kc4
221	6,46	4,81	1,80	2,06	0,28	0,37	0,32	0,43
222	7,09	6,64	2,30	3,09	0,32	0,35	0,44	0,46
223	7,66	4,88	2,30	3,78	0,30	0,47	0,49	0,77
224	6,29	5,51	2,30	3,78	0,37	0,42	0,60	0,69
225	5,02	4,45	2,70	3,94	0,54	0,61	0,78	0,89
226	5,64	5,83	2,70	4,94	0,48	0,46	0,88	0,85
227	6,53	7,00	2,70	4,54	0,41	0,39	0,70	0,65
228	6,14	5,80	2,70	3,72	0,44	0,47	0,61	0,64
229	6,75	6,13	2,70	4,85	0,40	0,44	0,72	0,79
230	8,45	5,11	3,00	3,98	0,36	0,59	0,47	0,78
231	4,79	5,46	3,00	3,59	0,63	0,55	0,75	0,66
232	6,38	6,17	3,00	4,97	0,47	0,49	0,78	0,81
233	8,03	5,37	3,00	4,35	0,37	0,56	0,54	0,81
234	5,24	6,17	3,30	3,75	0,63	0,53	0,71	0,61
235	6,78	6,08	3,30	3,61	0,49	0,54	0,53	0,59
236	6,10	6,65	3,30	4,17	0,54	0,50	0,68	0,63
237	8,12	6,94	3,30	3,15	0,41	0,48	0,39	0,45
238	6,06	6,66	3,30	3,68	0,54	0,50	0,61	0,55
239	7,13	6,33	3,30	4,35	0,46	0,52	0,61	0,69
240	6,97	7,77	3,50	4,84	0,50	0,45	0,69	0,62
241	7,55	7,09	3,50	5,13	0,46	0,49	0,68	0,72
242	6,93	7,16	3,50	5,64	0,50	0,49	0,81	0,79
243	6,77	5,59	3,50	5,63	0,52	0,63	0,83	1,01
244	7,56	6,22	3,50	5,86	0,46	0,56	0,78	0,94
245	5,85	6,01	3,50	5,49	0,60	0,58	0,94	0,91
246	5,66	4,37	3,50	4,22	0,62	0,80	0,75	0,97
247	5,73	6,19	3,80	5,11	0,66	0,61	0,89	0,83
248	6,80	4,85	3,80	3,71	0,56	0,78	0,55	0,77

249	6,84	6,23	3,80	4,56	0,56	0,61	0,67	0,73
250	7,53	6,55	3,80	4,95	0,50	0,58	0,66	0,76
251	7,37	7,25	3,80	4,20	0,52	0,52	0,57	0,58
252	7,42	6,55	3,80	3,62	0,51	0,58	0,49	0,55
253	7,61	4,39	3,80	2,39	0,50	0,87	0,31	0,54
254	5,19	5,73	3,80	3,83	0,73	0,66	0,74	0,67
255	6,51	7,40	4,30	4,79	0,66	0,58	0,74	0,65
256	7,33	7,51	4,30	4,91	0,59	0,57	0,67	0,65
257	8,02	7,29	4,30	5,03	0,54	0,59	0,63	0,69
258	8,95	6,62	4,30	4,96	0,48	0,65	0,55	0,75
259	6,17	5,60	4,30	3,49	0,70	0,77	0,57	0,62
260	7,79	7,05	4,30	5,08	0,55	0,61	0,65	0,72
261	7,62	6,79	4,50	4,23	0,59	0,66	0,55	0,62
262	7,31	8,48	4,50	4,94	0,62	0,53	0,68	0,58
263	7,56	6,93	4,50	4,64	0,59	0,65	0,61	0,67
264	6,19	7,11	4,50	4,61	0,73	0,63	0,74	0,65
265	7,07	6,05	4,50	4,57	0,64	0,74	0,65	0,76
266	6,76	4,98	4,50	3,92	0,67	0,90	0,58	0,79
267	6,30	5,17	4,50	4,81	0,71	0,87	0,76	0,93
268	5,28	5,51	4,70	5,54	0,89	0,85	1,05	1,01
269	6,18	5,79	4,70	5,76	0,76	0,81	0,93	1,00
270	8,57	4,85	4,70	4,48	0,55	0,97	0,52	0,92
271	5,97	6,20	4,70	5,11	0,79	0,76	0,86	0,82
272	7,05	6,90	4,70	5,54	0,67	0,68	0,79	0,80
273	7,02	6,35	4,70	5,60	0,67	0,74	0,80	0,88
274	7,23	7,98	4,70	6,36	0,65	0,59	0,88	0,80
275	7,44	6,23	5,00	5,75	0,67	0,80	0,77	0,92
276	7,21	5,63	5,00	4,40	0,69	0,89	0,61	0,78
277	5,16	6,94	5,00	4,85	0,97	0,72	0,94	0,70
278	8,42	6,48	5,00	4,75	0,59	0,77	0,56	0,73
279	8,56	6,78	5,00	5,13	0,58	0,74	0,60	0,76
280	8,28	7,16	5,00	4,12	0,60	0,70	0,50	0,57
281	7,84	5,81	5,00	5,26	0,64	0,86	0,67	0,91
282	9,23	6,44	5,30	5,12	0,57	0,82	0,55	0,79
283	6,69	6,48	5,30	5,47	0,79	0,82	0,82	0,84
284	6,68	8,24	5,30	6,82	0,79	0,64	1,02	0,83
285	8,11	6,96	5,30	5,76	0,65	0,76	0,71	0,83

286	7,06	7,10	5,30	6,08	0,75	0,75	0,86	0,86
287	8,28	7,38	5,30	5,15	0,64	0,72	0,62	0,70
288	8,15	7,02	5,30	5,57	0,65	0,76	0,68	0,79
289	8,40	6,31	5,50	5,26	0,65	0,87	0,63	0,83
290	4,45	6,54	5,50	4,77	1,24	0,84	1,07	0,73
291	10,19	7,54	5,50	6,43	0,54	0,73	0,63	0,85
292	6,15	8,27	5,50	5,43	0,89	0,67	0,88	0,66
293	9,56	6,54	5,50	5,56	0,58	0,84	0,58	0,85
294	10,71	7,29	5,50	5,73	0,51	0,75	0,54	0,79
295	7,11	8,95	5,50	6,84	0,77	0,61	0,96	0,76
296	9,72	7,49	5,80	6,42	0,60	0,77	0,66	0,86
297	5,21	6,74	5,80	5,81	1,11	0,86	1,11	0,86
298	7,09	6,66	5,80	5,77	0,82	0,87	0,81	0,87
299	7,37	8,09	5,80	6,07	0,79	0,72	0,82	0,75
300	7,83	6,05	5,80	6,42	0,74	0,96	0,82	1,06
301	7,10	6,63	5,80	6,40	0,82	0,87	0,90	0,96
302	7,24	5,65	5,80	5,74	0,80	1,03	0,79	1,02
303	6,43	6,70	5,50	7,11	0,85	0,82	1,10	1,06
304	9,29	6,57	5,50	7,08	0,59	0,84	0,76	1,08
305	6,00	6,45	5,50	6,43	0,92	0,85	1,07	1,00
306	7,85	6,15	5,50	6,53	0,70	0,89	0,83	1,06
307	8,20	6,87	5,50	6,44	0,67	0,80	0,79	0,94
308	7,29	4,45	5,50	5,24	0,75	1,23	0,72	1,18
309	7,02	6,16	5,50	6,47	0,78	0,89	0,92	1,05
310	7,80	5,48	5,30	5,63	0,68	0,97	0,72	1,03
311	7,15	6,00	5,30	5,30	0,74	0,88	0,74	0,88
312	6,83	5,60	5,30	4,96	0,78	0,95	0,73	0,89
313	5,93	4,69	5,30	4,88	0,89	1,13	0,82	1,04
314	5,37	6,19	5,30	6,09	0,99	0,86	1,13	0,98
315	6,87	5,85	5,30	5,87	0,77	0,91	0,85	1,00
316	7,51	7,53	5,30	5,96	0,71	0,70	0,79	0,79
317	7,92	7,82	5,00	5,76	0,63	0,64	0,73	0,74
318	8,04	8,21	5,00	5,51	0,62	0,61	0,69	0,67
319	7,91	7,55	5,00	5,00	0,63	0,66	0,63	0,66
320	9,85	8,66	5,00	6,47	0,51	0,58	0,66	0,75
321	7,14	6,07	5,00	6,98	0,70	0,82	0,98	1,15
Média	7,56	6,76	5,34	5,77	0,73	0,81	0,79	0,87