

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E BALANÇO  
DE RADIAÇÃO DO ALGODOEIRO HERBÁCEO  
BRS – 201 EM CONDIÇÕES IRRIGADAS  
AUTOR: PÉRICLES DE FARIAS BORGES  
DEZEMBRO - 2002

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E BALANÇO DE  
RADIÇÃO DO ALGODOEIRO HERBÁCEO BRS-201 EM  
CONDIÇÕES IRRIGADAS**

**PÉRICLES DE FARIAS BORGES**

Campina Grande – PB  
Dezembro de 2002

---

---

PÉRICLES DE FARIAS BORGES

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E BALANÇO DE  
RADIAÇÃO DO ALGODOEIRO HERBÁCEO BRS-201 EM  
CONDIÇÕES IRRIGADAS

---

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
Em Meteorologia da Universidade Federal de  
Campina Grande em cumprimento às  
exigências para a obtenção do Grau de Mestre.

Área de concentração: **Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia**

Orientadores: Prof. Dr. Renilson Targino Dantas  
Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

---

Campina Grande – PB  
Dezembro de 2002

FICHA CATALOGRÁFICA

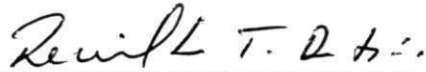
B732c 2002	Borges, Péricles de Farias Crescimento, desenvolvimento e balanço de radiação do algodoeiro herbáceo BRS – 2001 em condições irrigadas/Péricles de Farias Borges Campina Grande:UFCG, 2002 98p.:il. Inclui bibliografia Dissertação (Mestrado em Meteorologia). UFCG/CCT/DCA 1. Algodoeiro Herbáceo – Crescimento, Desenvolvimento e Balanço de Radiação 2 – Balanço de Radiação – Algodoeiro Herbáceo 3 – Algodoeiro Herbáceo – Área Foliar 4 – Algodoeiro Herbáceo – Taxa de Crescimento CDU:633.511:504.32
---------------	--

PÉRICLES DE FARIAS BORGES

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E BALANÇO DE RADIAÇÃO  
DO ALGODOEIRO HERBÁCEO BRS-201 EM CONDIÇÕES IRRIGADAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/12/02

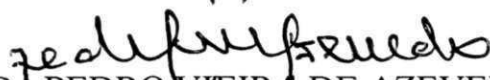
BANCA EXAMINADORA



Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



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

## DEDICATÓRIA

A Deus que é força que me faz caminhar seguro e o grande responsável pela minha existência.

Aos meus pais razão do meu viver por seu imenso amor e dedicação agradeço-te de coração tudo o que representam para mim Pedro Borges Souto e Elizabete de Farias Souto.

A minha irmã por ter sempre me dado forças para continuar a minha luta.

A minha noiva que sempre esteve me apoiando em todos os momentos de minha jornada.

Aos meus colegas e amigos que me ajudaram ao longo deste Curso de Mestrado e a Secretaria do Curso Divanete.

Aos meus amigos cearenses, de Barbalha-CE, Juazeiro do Norte e Crato, pela ajuda nos trabalhos de campo da Unidade Experimental da Embrapa-Barbalha.

## AGRADECIMENTOS

A Embrapa – Algodão, pela imprescindível cooperação, sem o que não teria sido possível realizar a pesquisa; e aos seus técnicos e cientistas, particularmente ao MSc. José Renato Coretez Bezerra e ao Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão.

Ao saudoso Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto, que juntamente com os professores Dr. Bernardo Barbosa da Silva e Dr. Pedro Vieira de Azevedo, projetaram a realização do experimento para Barbalha, CE.

Ao CNPq por ter custeado a campanha experimental em Barbalha-CE, tanto ao de Mestrado e Doutorado.

Ao chefe da Embrapa-Barbalha, a pessoa do Sr. Dalfram Valle Gonçalves e aos técnicos José Nilson e Gildo e a Idalécio.

Ao CENTEC, pelo apoio indispensável que nos foi destinado durante a campanha experimental, que houve no Estado do Ceará de Agosto a Dezembro de 2001.

Ao professores da Unidade Descentralizada do Cariri, CENTEC as pessoas do Sr. Raimundo de Sá de Barreto, Silas Barros aos alunos do Curso de Irrigação pelo apoio que tive durante o experimento.

Aos Doutores do Curso de Mestrado em Meteorologia, Prof.<sup>o</sup> Dr. Bernardo Barbosa da Silva (orientador e coordenador do curso), Prof.<sup>o</sup> Dr. Renilson Targino Dantas (orientador), Prof.<sup>o</sup> Dr. Ramana Rao.

Ao CNPq, pela Bolsa que recebi durante um ano e seis meses, pois a mesma foi sem sombra de duvida muito importante para o término do curso.

Aos grandes amigos e doutorandos Cleber Brito Souza e Marcos Fernando Guedes Rodrigues pela sua ajuda que foram indispensáveis durante o curso.

Ao grande amigo, professor e orientador Dr. Bernardo Barbosa da Silva por sua paciência e ajuda durante todo o curso, pois sem sua participação não teria concluído o curso de mestrado.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina grande, por ter cedido seu espaço para a defesa da minha dissertação.

Ao INPE por ter cedido dados de radiação solar global da região de Barbalha-CE.

Aos meus amigos de turma Petrônio e Nadja, pois foram muito importantes durante o curso.



## RESUMO

O experimento foi realizado no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária em Barbalha-CE (07°18'39"S; 39°23'39"W; 415,7m) de agosto a dezembro de 2001, com os objetivos de avaliar o crescimento e desenvolvimento do algodão herbáceo cultivar BRS-201 nas condições edafoclimáticas e irrigadas do Cariri cearense e estabelecer o balanço de radiação sobre a cultura. A análise de crescimento foi realizada através do Índice de Área Foliar, das Taxas de Crescimento Absoluto e Relativo e da Cultura, até da taxa de Assimilação Líquida; o balanço de radiação foi estabelecido por intermédio dos balanços de onda curta e longa. O Índice de Área Foliar máximo atingido foi de 3,7, a Taxa de crescimento Absoluto máxima foi de 2,4g/dia. A refletividade da cultura variou de 0,10 a 0,24 e sobre a mesma houve incidência da irradiância solar global superior a 1500w/m<sup>2</sup>, e neste dia o saldo de radiação instantâneo foi de aproximadamente 800w/m<sup>2</sup>, permitindo uma boa oferta energética para um bom crescimento e desenvolvimento da cultura. O rendimento da cultura foi o de 5.176 kg/ha<sup>-1</sup>.

## ABSTRACT

The experiment was carried out in the experimental field of the National Center of Research of the Cotton of the Brazilian Company of Agricultural Research in Barbalha-CE (07°18'39 "S; 39°23'39 "W; 415,7m) from August to December 2001, with the objectives of evaluating the growth and development of the irrigated cotton cultivar BRS-201, with the objectives of evaluating the growth and development of the irrigated herbaceous cotton cultivar BRS-201 under conditions that soil and climate of Cariri, Ceará State and to establish the radiation balance on the culture. The growth analysis was accomplished through the Foliar Area Index, Rates of Absolute and Relative Growth and of the Culture, even of the rate of liquid Assimilation; the radiation balance growth was established through the of short and long waves balance. Foliar Area Index reached a maximum it value of 3,7, the Absolute Growth Rate reached 2,4 g/dia. The reflectivity of the culture varied from 0.10 to 0.24. The solar radiation reached 1700w/m<sup>2</sup>, and on this day the instantaneous radiation a maximum value balance was of approximately equal of 800w/m<sup>2</sup>, allowing a good growth and development of culture. The final yield of culture was equal to 5.176 kg/ha<sup>-1</sup>.

## SUMÁRIO

Item	Página
Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Resumo	
Abstract	
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 – Considerações Gerais Sobre a Fenologia, Crescimento e Desenvolvimento da Cultura.	4
2.2 - Importância os Componentes Do Balanço De Radiação	17
3 - Material e Métodos	24
3.1 - Área Experimental	24
3.2 – Clima	26
3.3 – Cultura	26
3.4 – Solo	26
3.5 – Medições Morfológicas	27
3.6 - Instrumentos Utilizados no Balanço de Radiação	28
3.7 - Sistema de Irrigação	28
3.8 - Tratos Culturais	29
3.9 - Análise de Crescimento da Cultura	29
3.10 - Balanço de Radiação Sobre a Cultura	31
4. Resultados e Discussões	34
4.1 – Crescimento e Desenvolvimento do Algodoeiro Herbáceo	34
4.1.1 – Altura De Plantas	34
4.1.2 – Fitomassa Epígea Fresca	35
4.1.3 – Fitomassa Epígea Seca	35
4.1.4 – Taxa de Crescimento da Cultura	36
4.1.5 –Área Foliar	36
4.1.6 – Índice de Área Foliar	37
4.1.7 – Taxa de Crescimento Absoluto	38
4.1.8 - Taxa de Crescimento Relativo	39

4.1.9 – Taxa de Assimilação Líquida	39
4.1.10 - Correlação da reflectância com DAS	44
4.1.11 - Correlação do IAF com o Saldo de Radiação Acumulado	44
4.1.12 - Correlação da Fitomassa Seca com o Saldo de Radiação Acumulado	45
4.1.13 - Correlação da Área Foliar com o Saldo de Radiação Acumulado	48
4.1.14 - Correlação da Fitomassa Seca com a Irradiação Global acumulada	48
4.1.15 - Correlação da Área foliar com a Irradiação Global acumulada	49
4.1.16 - Correlação da Fitomassa Seca com o Balanço de Ondas Longas Semanal.	52
4.1.17 - Correlação da Fitomassa Seca com o Balanço de Ondas Longas Acumulado	52
4.1.18 - Correlação da Área Foliar com o Balanço de Longas Semanal	53
4.1.19 - Correlação da Área Foliar com o Balanço de Ondas Acumulado	55
4.1.20 - Correlação da Fitomassa Seca com o Balanço de Ondas Curtas Acumulado	56
4.1.21 - Correlação da Área Foliar com o Balanço de Curtas Acumulado	57
4.2 – Análise do Balanço de Radiação	59
4.3 – Relações entre o saldo e a radiação solar global	69
5. Conclusões	75
6. Referências Bibliográficas	77

## LISTA DE FIGURAS

Págs.

- Figura 4 – Mapa da área experimental localizada em Barbalha-CE. 24
- Figura 4.0 - Visão geral da área (a), capulho do algodoeiro (b) e abrigo com datalogger (c). 25
- Figura 4.1 – Altura de planta, fitomassas epígeas verde e seca, do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano 2001. 41
- Figura 4.2 – Taxa de crescimento da cultura em ( $\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{dia}$ ), Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), Índice de área foliar do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano 2001. 42
- Figura 4.3 – Taxas de crescimento da cultura ( $\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), absoluto ( $\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), relativo ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) e assimilação líquida ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano 2001. 43
- Figura 4.4 – Relação da Reflectância com dias após a semeadura, saldo de radiação com índice de área foliar, saldo de radiação com fitomassa seca. 47
- Figura 4.5 – Relação da área foliar com o saldo de radiação acumulado, fitomassa seca com a radiação global acumulada, área foliar com a radiação global acumulada. 51
- Figura-4.6 – Relação da fitomassa seca com o balanço de ondas longas semanal, correlação da fitomassa seca com o balanço de ondas longas acumulado e a área foliar com o balanço de ondas longas semanal. 54
- Figura 4.7 – Relação da área foliar com o balanço de ondas longas acumulado, fitomassa seca com o balanço de ondas curtas acumulado, área foliar com o balanço de ondas curtas acumulado. 58
- Figura 4.8 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001. 64
- Figura 4.9 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001. 65
- Figura 4.10 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.. 66
- Figura 4.11 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001. 67
- Figura 4.12 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001. 68
- Figura - 4.13 – Relação entre o saldo de radiação -  $R_n$  e a radiação solar global para valores instantâneos  $R_g$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 71
- Figura - 4.14 – Relação entre o saldo de radiação -  $R_n$  e a radiação solar global para valores instantâneos  $R_g$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 72
- Figura - 4.15 – Relação da radiação solar global diária com o saldo de radiação das 24hs em ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ ). 73
- Figura - 4.16 – Relação da radiação solar global diária com o saldo de radiação das 24hs em ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ ). 74

## LISTA DE TABELAS

Págs.

Tabela 4 – Características físico-hídricas de solo da área experimental. 27

Tabela 4.1 – Variação estacional dos valores diários do saldo de radiação –  $R_n$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação solar global –  $R_g$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação solar refletida –  $R_r$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação de onda longa emitida pela atmosfera –  $R_{ol,atm}$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) e pelo sistema solo-planta –  $R_{ol,emi}$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), razão entre  $R_n$  e  $R_g$ , albedo e razão entre  $R_{ol,atm}$  e  $R_{ol,emi}$ , em cultivo de algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha-CE, no ano de 2001. 60

Tabela 4.2 – Equações de regressão entre o saldo de radiação  $R_n$  ( $\text{W.m}^{-2}$ ) e a radiação solar global  $R_g$  ( $\text{W.m}^{-2}$ ), por estágio fenológico. 70

---

## 1. INTRODUÇÃO

O algodão é a mais importante das fibras têxteis, naturais ou artificiais, quer considerando o volume, quer o valor econômico de produção, a multiplicidade de produtos que dela se origina e a popularidade que goza. Por sua vez, o algodão é a planta de aproveitamento mais completo e a que oferece a mais variada gama de produtos de utilização universal (Neves et al., 1986). Para se obter sucesso no cultivo algodoeiro é indispensável que o cotonicultor tenha uma visão holística da cultura, além da cadeia do agronegócio do algodão. Conseqüentemente, isto requer o planejamento da cultura, começando por analisar o mercado com vistas a atender o consumidor final.

O algodoeiro é cultivado, principalmente, em áreas irrigadas, onde a cultura pode expressar todo o seu potencial produtivo. Entretanto, o excesso de água no solo influencia a deficiência total ou parcial de oxigênio, podendo causar efeitos no seu metabolismo e, dependendo do estágio da cultura e duração do encharcamento, pode afetar o seu rendimento. Daí a necessidade de estudos acerca de suas necessidades hídricas, como forma de otimizar o seu cultivo.

O algodoeiro também é cultivado extensivamente em condições de sequeiro. Embora a cultura seja relativamente resistente a curtos períodos de encharcamento, chuvas intensas podem causar acamamento das plantas. Chuvas contínuas durante a floração e a abertura das maçãs, comprometem a polinização e a qualidade da fibra. Por sua vez, chuvas intensas durante a floração provocam a queda dos botões florais e das maçãs jovens.

O clima semi-árido no Nordeste apresenta aspectos muito favoráveis ao cultivo de diversas culturas, principalmente devido à disponibilidade de energia, mas oferece restrições quanto à disponibilidade hídrica de origem pluvial, em função de sua grande variabilidade espacial e temporal. Nesse sentido, a irrigação se apresenta como solução para a limitação hídrica regional, mas requer

a adoção de técnicas de manejo de água, solo e da própria cultura, com vistas a garantir a sustentabilidade ambiental e o sucesso econômico da atividade agrícola, (Silva, 1994).

A análise de crescimento baseia-se, fundamentalmente, no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resultam da atividade fotossintética e esta, por seu turno, é muito afetada pela disponibilidade da radiação solar. O restante é função da absorção de nutrientes minerais do solo. A análise de crescimento também permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento pode-se inferir sobre a atividade fisiológica, isto é, estimar de forma bastante precisa as causas de variações do crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes.

Como o crescimento é avaliado através de variações em tamanho de algum aspecto da planta, geralmente morfológico, em função da acumulação de material resultante da fotossíntese líquida, esta passa a ser o aspecto fisiológico de maior importância para a análise do crescimento.

A radiação solar é a principal fonte de energia para o ambiente e é a grande responsável pelo processo de fotossíntese e, conseqüentemente, para a produção das plantas. Além de determinar a época de floração e frutificação, influencia na cor, sabor e odor das frutas e dos vegetais de um modo geral. Sua primordial função é dada pelas transformações bioquímicas que acarreta aos vegetais, proporcionada pelo número de horas de brilho solar.

O balanço de radiação em superfícies vegetadas, é de grande importância na determinação das perdas de água e na acumulação de matéria seca pelos vegetais, além de caracterizar o seu microclima. As medidas de saldo de radiação em comunidades vegetais possibilitam caracterizar os estados de conforto térmico, conforto hídrico, e muitas reações biofísicas e bioquímicas.

A cultura pesquisada foi o algodão Herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium* Hutch.), cultivar BRS-201, que oriunda do cruzamento dialético parcial, entre um grupo de seis cultivares e outro de 15. A população F1 foi cruzada até a geração F4, sob autofecundação, quando se iniciaram as seleções visando



produtividade e resistência às doenças, resultando na linhagem selecionada em 1986, denominada CNPA 96-12, que deu origem à BRS-201.

A BRS-201 possui em média, ciclo de plantio à colheita de 130 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 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 à ramulária e *Stemphylium*, além de suscetibilidade à *Alternaria*. No tocante à ramulose, esta cultivar se mostra moderadamente resistente, podendo apresentar a doença em condições de alto potencial de inoculo e condições favoráveis (Costa, 2001).

Este trabalho tem por objetivos: a) avaliar o crescimento e o desenvolvimento do algodão herbáceo BRS-201 nas condições edafo-climáticas e de energia disponível em condições irrigadas do Cariri cearense; e b) estabelecer o balanço de radiação sobre a cultura.

---

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 – Considerações gerais sobre a fenologia, crescimento e desenvolvimento da cultura**

Não ocorrendo condições adversas de umidade, temperatura, pragas e doenças, o ciclo do algodoeiro pode ser dividido em cinco fases, em que a primeira compreende do plantio à emergência, fase em que ocorre a embebição, germinação da semente e estabelecimento dos cotilédones; dura em média, de 4 a 10 dias e pode prolongar-se em condições desfavoráveis; a segunda fase, que compreende da emergência ao surgimento do primeiro botão floral, geralmente dura de 20 a 26 dias; a terceira fase vai do surgimento do primeiro botão floral ao aparecimento da primeira flor, que ocorre aos 45 dias; já a quarta fase compreende o período entre o surgimento da primeira flor à abertura do primeiro capulho; aos 90 dias as maçãs estão completamente abertas, o que ocorre em média aos 126 dias. Os dados supracitados foram obtidos de experimentos de campo, conduzidos em condições de irrigação nas condições do Nordeste brasileiro. Das diversas cultivares e linhagens estudadas, nas condições do Nordeste até 1987, a cultivar CNPA Precoce 1 apresentou uma pequena antecedência na fenologia, com a primeira colheita antecipada uma semana em relação às demais cultivares. Em regime de sequeiro, as cultivares CNPA Precoce 1 e CNPA 7H, atualmente em distribuição no Nordeste brasileiro, necessitam do plantio à primeira flor de 45 a 52 dias; do plantio ao primeiro capulho, de 80 a 90 dias, e completam o ciclo nas condições de clima e solo do

Nordeste de 100 a 130 dias. A cultivar CNPA Precoce 1 foi, também em regime de sequeiro, mais precoce, antecipando o ciclo em média em 10 dias, em relação às demais cultivares (Beltrão, 1999).

Entender os principais processos fisiológicos que ocorrem durante cada estágio de crescimento é importante para um adequado manejo da cultura e para obtenção de produtividades econômicas (Oosterhuis, 1992). Durante a maior parte do ciclo da planta há diversos eventos ocorrendo ao mesmo tempo, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento e maturação de frutos. Cada um desses eventos é importante para a produção final, mas é necessário que eles ocorram de modo balanceado. Durante boa parte do ciclo da planta, ocorre uma competição interna pelos carboidratos produzidos pela fotossíntese. Assim, se houver uma queda excessiva de estruturas reprodutivas, haverá crescimento vegetativo exagerado, aumentando o auto-sombreamento, que por sua vez, causará maior queda de estruturas reprodutivas (Oosterhuis, 1992).

Após o estabelecimento dos cotilédones (a emergência) a planta é autotrófica. Entre 6 e 8 dias após a emergência surge a primeira folha, não lobada, e a segunda, três dias depois. O crescimento da parte aérea depende, muitas vezes, de condições satisfatórias de temperatura, umidade e luminosidade. Temperaturas ótimas para a fase do crescimento vegetativo do algodoeiro situam-se entre 27°C e 32°C (Souza & Silva, 1992a).

No algodoeiro herbáceo o crescimento é mais rápido até os 60 dias; a partir dos 70 dias, o crescimento é lento e, dependendo do comportamento genético do genótipo, a primeira flor surge entre 45 a 55 dias e, nesta fase, grande parte dos assimilados usados no crescimento vegetativo, é transportada para o uso no crescimento dos órgãos florais, que são "drenos" altamente competitivos (Souza & Silva, 1992a).

O algodoeiro apresenta desenvolvimento e crescimento estrutural complexo. O seu hábito de crescimento é indeterminado e a existência de dois tipos de ramo, frutífero e vegetativo, confere à planta grande adaptabilidade. Na base de folha da haste principal existem duas ou, excepcionalmente, três gemas, uma das quais, chamada primeira axilar, é responsável pela origem dos ramos frutíferos ou vegetativos; a segunda gema, chamada segunda axilar, geralmente

se encontra dormente, exceto na ocorrência de problemas para o crescimento da primeira axilar, podendo originar um ramo. A terceira gema não é muito comum (Mauney, 1984).

O crescimento dos ramos vegetativos é do tipo monopodial, cuja gema apical continua a produzir folha indefinidamente, até que, por alguma razão, venha a parar o seu crescimento. O crescimento dos ramos frutíferos é do tipo simpodial, e sua gema apical, depois de produzir o prófio, o entrenó e a folha verdadeira, termina em uma flor. A altura de inserção do primeiro ramo frutífero, em relação ao número de nós, difere nas espécies, raças e cultivares de algodoeiro, mas pode ser modificada pelas condições ambientais. No algodoeiro herbáceo a inserção desse ramo situa-se do terceiro ao sétimo nó. Quanto menor o número de nós para a inserção do primeiro ramo frutífero, mais precoce será a planta. Nos algodoeiros arbóreos (mocó) mais tardios, o primeiro ramo frutífero geralmente aparece a partir do décimo quinto nó, enquanto nas cultivares mais precoces a altura do primeiro ramo frutífero é semelhante ao algodoeiro herbáceo, situando-se a partir do quinto nó (Souza & Silva, 1994b).

A altura do algodoeiro depende da fertilidade e da umidade do solo. As cultivares comerciais chegam, em solos férteis, a até 2,50 m; a cultivar Rim de Boi, com 3 anos, alcança de 3 a 4 m. Existem plantas de mocó que chegam até cerca de 10 m; por outro lado, há variedades de algodoeiro cujo o porte é quase rasteiro (Souza & Silva, 1994b).

O surgimento dos botões florais e a formação das flores são função do crescimento vegetativo, devido ao aparecimento sucessivo de ramos frutíferos e de pontos florais nos ramos existentes. É fator fundamental, para o bom rendimento do algodoeiro, o balanço entre o crescimento vegetativo e o frutífero, que são afetados pelas condições do ambiente, umidade e fertilidade do solo. A temperatura tem influência significativa na formação dos botões florais e das flores e, ainda, no crescimento e desenvolvimento das maçãs. Altas temperaturas noturnas  $T_n > 25^\circ\text{C}$  atrasam o florescimento e a baixa temperatura  $T_n < 20^\circ\text{C}$ , combinada com temperatura diária de  $25^\circ\text{C}$ , estimula o florescimento (Mauney, 1966). O ácido giberélico tem sido relatado como o principal fotorregulador a influenciar o florescimento. Com base em resultados observados em estudos de campo, concluiu-se que uma única aplicação de ácido giberélico decresceu o

número de meristemas florais; e que múltiplas aplicações, em baixas concentrações, aumentaram os pontos florais, embora este aumento tenha sido causado pelo estímulo ao crescimento dos ramos vegetativos e frutíferos e não pela diferenciação dos meristemas florais (Dransfield, 1961). O estresse hídrico na fase inicial de floração também estimula a taxa de floração, podendo ser devido ao incremento de fotorreguladores endógenos (Guinn, 1979). A ordem de abertura das flores na planta de algodão já foi estudada há muito tempo; Balls citado por Gridi Papp (1965) mostrou que a abertura das flores segue uma espiral, sendo abertas, inicialmente, a flor no primeiro nó do primeiro ramo frutífero, depois a do primeiro nó do segundo ramo frutífero, e assim sucessivamente, até chegar a um mesmo localizado no mesmo plano vertical do ramo. Em seguida, surge a flor no segundo nó do primeiro ramo frutífero, a do segundo nó do segundo ramo frutífero, e assim continua nos demais nós. Em estudos realizados durante dois anos com seis variedades de *Gossypium hirsutum* na África Central, observou-se que a abertura, *horizontal, em um nó e no seguinte do mesmo ramo frutífero*, ocorreu entre 5 e 9 dias, enquanto no sentido vertical, em um nó sobre um ramo, em posição idêntica sobre o ramo imediatamente superior, ocorreu entre 2 a 3,5 dias (Parry, 1982). Resultados de pesquisas com a cultivar CNPA Acala 1, obtidos no Nordeste Brasileiro, indicam 8,8 dias como o intervalo de floração horizontal e de 3,9 dias para o vertical (Barreiro Neto et al., 1983); entretanto, esse esquema de abertura em espiral pode ser alterado, mudando a ordem de florescimento, desde que ocorram abscisões de botões florais e diferenças nas condições durante a fase de crescimento dos botões florais.

Após a abertura das flores e a fertilização dos óvulos, o fruto alcança tamanho completo em cerca de 21 a 25 dias e a completa maturação das maçãs ocorre em 40 dias. As sementes completam o crescimento em um período de 21 dias e estão maduras antes da abertura das maçãs (Grimes & El - Zik, 1990). A quantidade de flores que geralmente surge é muito maior, comparando-se com o número de capulhos produzidos, onde muitos fatores podem influenciar desde de problemas ocorridos na fecundação, a competição por assimilados, as condições edafoclimáticas, ataques de pragas e doenças. Os capulhos efetivamente responsáveis pela produção são os resultantes dos primeiros dias da floração. Dependendo das condições ambientais da condução do plantio da lavoura, cerca

de 80% das maçãs retidas resultam dos primeiros dias da floração, entre 21 e 41 dias (El - Zik, 1980; El - Zik & Frisbie, 1985, citados por Grimes & El - Zik, 1990).

Estresse hídrico e/ou térmico podem causar um bloqueio antecipado no crescimento e no desenvolvimento da planta e, como consequência, não haverá formação de botões florais nem de ramos frutíferos, ocorrendo redução na produção e na qualidade da fibra. Este fenômeno é denominado "cut-out" (Grimes & El - Zik, 1990).

Genótipos de algodoeiro herbáceo cultivados em casa de vegetação, em vasos com capacidade de 10kg de material de solo, apresentam semelhante comportamento no consumo de água, transpirando em média 46 litros de água por planta durante o ciclo da cultura. Entretanto, há diferença considerando-se a eficiência do uso de água na formação de biomassa, cujo consumo foi de 423g a 538g de água/grama de biomassa total (Souza & Silva, 1993). Comparando-se o algodoeiro com outras culturas, verificou-se que para produzir 1g de biomassa, o algodão precisou de 646g de água, enquanto o milho de 368g e o sorgo 322g (Ray et al., 1974).

A irradiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica afetam o crescimento da cultura, de maneira que a quantificação destes fatores pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação do desenvolvimento e da produção de culturas. Em condições potenciais a quantidade de irradiação incidente e a proporção desta que é interceptada pelas plantas são determinantes fundamentais do rendimento. Para qualquer espécie vegetal, em condições de suprimento hídrico e mineral não limitantes, ocorre uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca aérea e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, permitindo ajuste de modelos simples para a estimativa da produção potencial em um determinado local (Gosse et al., 1986).

Potencialmente, o algodoeiro herbáceo teria condições de produzir cerca de 17.500 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, considerando-se o peso médio de capulho de 5g e o máximo crescimento teórico possível (Beltrão & Azevedo, 1993). Entretanto fatores internos e externos da planta e do ambiente limitam essa produção. Entre os fatores externos, destacam-se a geometria do dossel, ou seja, a arquitetura da planta, muito planofoliar, com coeficiente de extinção da luz maior ou igual a unidade; a forma e a distância vertical das folhas e a própria área

foliar. Estes fatores levam à necessidade de alta incidência para que se obtenha alta produtividade. Com relação aos fatores internos, destacam-se a falta de sincronismo entre o grande período de crescimento do fruto e a plenitude fotossintética das folhas, que é atingida antes da máxima exigência, a elevada taxa de fotorrespiração (cerca de 38% da fotossíntese), o alto ponto de compensação de CO<sub>2</sub> e a menor utilização de nitrogênio.

Do ponto de vista biológico, a análise de crescimento é uma ferramenta indispensável para o conhecimento das plantas como entidades biológicas que são, independentes de exploração agrícola.

Está perfeitamente constatado que a taxa de fotossíntese, fator determinante do crescimento, é influenciada pela temperatura da folha. Apesar da fotossíntese aumentar rapidamente com a temperatura até certo ponto, decai depois que as condições mais favoráveis são alcançadas e torna-se desprezível à temperaturas mais elevadas.

Mota (1983) esclarece que os seguintes termos diferem basicamente: i) crescimento se refere a um aumento em peso ou volume de um certo órgão da planta, ou da planta como um todo, dentro de um intervalo de tempo de uma certa fase ou de toda a vida da planta; ii) desenvolvimento é o aparecimento de uma fase, ou de uma série de fases durante o ciclo vital da planta. Conclui-se, assim, que o crescimento pode ser medido pelo aumento de peso, área foliar etc. Entretanto, o desenvolvimento de uma planta assume caráter morfológico e fenológico (fenologia é o estudo dos acontecimentos periódicos da vida), enquanto o crescimento é geralmente fisiológico e ecológico, conclui.

A produção total de matéria seca depende principalmente da magnitude da área foliar, da duração e da eficiência da área fotossinteticamente ativa, que em sua maior parte corresponde ao limbo da folha. A quantificação da área foliar, portanto, é necessária no estudo fitotécnico quando se deseja estabelecer relações de eficiência na produção de matéria seca (Frota, 1994).

A complexidade da análise de crescimento de culturas agrícolas pode ser simplificada usando-se índices que expressam o crescimento das plantas, tais como o índice de área foliar (IAF) e as taxas de assimilação líquida (TAL) e de crescimento relativo (TCR).

Gregore (1917) foi quem primeiro calculou a Taxa de Assimilação Aparente (TAA), mas foram Briggs et al. (1920) que a classificam como parâmetro de análise de crescimento.

O cálculo da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) se apoia na derivação da TAA, daí a razão porque estes dois parâmetros apresentam curvas com tendência semelhante em função do tempo. King (1922) encontrou correlação direta entre o crescimento em altura e o conteúdo de umidade na cultura do algodão, enquanto que Watson (1947) conclui que a taxa de assimilação líquida pode ser afetada pelas condições climáticas e aparentemente diminui com o aumento na idade.

De acordo com Williams (1946) a definição para a TAA é somente válida mediante as fases de crescimento da planta, tendo em vista que a sintetização de carbono é contabilizada para o volume de transferência no peso da planta.

Bolls & Holton (1915) e Bolls (1917), citados por Watson (1952) foram alguns dos pesquisadores a estudar as características específicas do crescimento do algodão no Egito, berço da cotonicultura mundial.

Eaton (1955) conclui que o crescimento e o desenvolvimento de plântulas de algodão ocorrem dentro do intervalo de 5 a 8 semanas ou em espaço de tempo mais longo, principalmente quando algodões adaptados a dias curtos são expostos a condições de dias longos. Já para Gridi-Papp (1965) a paralisação do crescimento pode ocorrer a temperaturas inferiores a 20°C ou superiores a 37°C.

Em muitos estudos acerca do crescimento de culturas, o IAF e a permanência da área foliar, têm sido registrados como sendo relacionados às produções biológica e econômica (Pearce et. al., 1965 e Welbank et. al., 1966). Para se determinar a área foliar, esta deve ser analisada em vários estágios de desenvolvimento da planta.

Williams et. al., (1965), afirmaram que a área foliar de qualquer cultura é a medida verdadeira de sua grandeza fotossintetizante, sendo a produção um fator resultante da própria fotossíntese. Como há uma proporcionalidade entre superfície foliar e razão fotossintética, torna-se muito importante relacionar a



variação da superfície foliar para se estimar o rendimento fotossintético (Ometto, 1981).

A fitomassa fresca, após processo de secamento a 70°C (durante 24-48 horas), alcança um peso correspondente de 10 a 20% do valor inicial. Os resultados da análise química do material vegetal são geralmente expressos com a base na matéria seca, pois esta é menos variável que a matéria fresca, a qual varia com a hora dia, com a quantidade de água disponível no solo, com temperatura, velocidade do vento e outros fatores (Epstein, 1975).

O índice de área foliar tem sido também utilizado para caracterizar culturas do ponto de vista da interceptação e penetração da radiação fotossinteticamente ativa (Anderson, 1971 e Monteith, 1965), enquanto necessária para a fotossíntese ou para modelos de crescimento de cultura (Arkin et. al., 1976 e Ross, 1970) e da partição de energia entre a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas (Kanemasu et. al., 1976 e Tanner & Jury, 1976). O índice de área foliar é ainda uma característica do crescimento importante para estudos do comportamento fisiológico das plantas e pode ser utilizado como indicador da taxa de crescimento e eficiência do uso da água pelas culturas (Azevedo et. al., 1993b).

De acordo com Aase (1978) e Hodges & Kanemasu (1987), a fotossíntese, respiração e o acúmulo de matéria seca podem ser expressos em função do índice de área foliar. O IAF varia ao longo da fenologia do cultivo, em consequência das atividades fotossintéticas e metabólicas da planta. Alguns autores têm estudado relações para descrever o efeito do déficit de água no desenvolvimento e transpiração da folha (Meyer & Green, 1980; Azevedo et. al., 1971; Ritchie et. al., 1972). Entretanto, as pesquisas não têm enfatizado as relações entre o IAF, a duração de funcionamento da área foliar e a produção de matéria seca (Shin & Gascho, 1980).

Em estudo de qualquer cultura, um parâmetro morfológico que se torna indispensável analisar é o que considera a área foliar. Análise dessa variável oferece informações importantes e seguras sobre o crescimento, assimilação, transpiração, dentre outros, quanto relacionado à absorção de radiação solar (Blackman, 1956; Monteith & Szeicz, 1962). A eficiência na interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) está diretamente ligada ao Índice de

Área Foliar (IAF) da cultura (Shibles & Weber, 1965) e ao coeficiente de extinção (k) característico da espécie.

Magalhães (1985) recomenda a Taxa de Crescimento Relativo - TCR como a medida mais apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, pois é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado. Porém, como a TCR considera toda a matéria seca da planta, igualmente produtiva, e a parte pertencente às folhas é a que mais contribui para a produção de matéria seca, torna-se importante conhecer a eficiência das folhas, na produção de matéria orgânica, que é representada pela Taxa de Assimilação Líquida - TAL (Charles - Edwards et al., 1986; Pereira e Machado, 1987).

Welbank et al. (1966) estudaram a complexibilidade do crescimento de culturas agrícolas, que pode ser simplificado por índices que expressam o crescimento das plantas, tais como o índice de área foliar, a Taxas de Assimilação Líquida (TAL) e taxas de crescimentos relativos e crescimento absoluto.

Para estudos das características do crescimento, o conhecimento da área foliar ocupa lugar de destaque, uma vez que a folha é sítio das mais importantes reações químicas que se processam nos vegetais superiores e, através dela pode-se obter estimativas do potencial de assimilação da planta, bem como de outros parâmetros de interesse como transpiração, taxa de assimilação líquida, índice de área foliar etc. (Soukup et al., 1986).

Soukup et al. (1986) estabeleceram que as características do crescimento, relacionados com o índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e absoluto, são importantes para o estudo do desenvolvimento, crescimento e transpiração da cultura, quando relacionada com a absorção da irradiação solar.

Salter & Good (1967) afirmam que a umidade do solo é importante em todas as fases de crescimento da cultura do algodão, sobressaindo-se a fase de floração-frutificação, quando haverá demanda maior da cultura. De forma semelhante, Gates (1968) explica que quando as plantas são submetidas à desidratação, surgem várias modificações morfológicas e os processos fisiológicos podem ser alterados, o que levou Kramer (1969) a constatar que o

material vegetal fresco contém 80-95% de água. Tecido inativo ou morto, como lenho das árvores, contém muito menos água e as sementes podem apresentar baixos percentuais.

O algodoeiro é tido, por vários pesquisadores, como uma planta altamente sensível às variações de umidade no solo durante alguns estágios de seu crescimento (Fisher & Hagan, 1965; Hearn, 1975). Quando as plantas são submetidas a estresse hídrico, surgem várias modificações morfológicas e alguns processos fisiológicos podem ser alterados (Gates, 1968). As plantas que são encontradas em diferentes regiões, diferem entre si em muitos aspectos, e embora existam certas semelhanças, o balanço entre características favoráveis e desfavoráveis, do ponto de vista fisiológico ou morfológico, determina seu êxito como concorrente da ordem das plantas.

Ritchie & Burnett (1971) observaram que a relação entre a proporção de transpiração para a evaporação potencial e o índice de área das folhas, pode ser usada para o algodão e o sorgo no Texas (USA). Ritchie (1971) formulou ainda relações empíricas para calcular a evaporação de culturas a partir de dados climatológicos, quando a água do solo era limitada, nestas relações, o desenvolvimento da cultura foi apresentado através do índice de área foliar.

Monteith (1972) afirma que a produção final de uma cultura está relacionada com a quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa durante o seu ciclo. As folhas iluminadas pelo sol são os locais onde a maior parte da irradiação solar, colidindo sobre o dossel, é absorvida e convertida em energia sensível, latente e química.

Hsiao (1973) considera que muitos processos fisiológicos das plantas são controlados pela divisão celular, seguido de sua expansão. Uma quantidade de água insuficiente, mantendo células das zonas de crescimento em condição de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e mais ainda a expansão de todas as células, impedindo assim, o crescimento vegetativo das plantas.

Robertson (1973) entende que o crescimento e o desenvolvimento das plantas estão mais relacionados com acúmulo de temperaturas acima da temperatura-base, do que o número de dias do calendário.

Hodges & Kanemasu (1987), observaram que a fotossíntese, respiração e o acúmulo de matéria seca podem ser expressos em função do

Índice de Área Foliar, que é definido como a relação entre a superfície foliar e a superfície projetada da planta, sobre o solo. O índice de área foliar é ainda uma característica da planta importante para o estudo do comportamento usado como indicador da taxa de crescimento e eficiência do uso da água pelas culturas (Azevedo et al., 1993).

Ometto (1981) cita que à medida que a cultura vai crescendo, vai aumentando a superfície foliar e o número de folhas utilizadas na fotossíntese, aumentando com isso absorção de  $\text{CO}_2$ , estimulando cada vez mais a evapotranspiração, resultando em acréscimo de matéria seca, que intrinsecamente vem sintetizar todas as relações planta-meio.

Segundo Charles-Edwards (1982) é apropriado que as análises de crescimento de plantas sejam baseadas na avaliação da eficiência pela qual a radiação solar incidente é utilizada no acúmulo de matéria seca.

De acordo com Ritchie (1974), o crescimento da cultura é controlado pelo déficit de água nas plantas e apenas indiretamente pelo déficit de água no solo e por estresse atmosférico. Sob condições climáticas semi-áridas, o crescimento do algodão é muito limitado pela quantidade de reservas de carboidratos armazenados (Souza et. al., 1983).

Muchow (1985) relata que para os primeiros 45 dias iniciais do subperíodo vegetativo, a eficiência de conversão de RFA em massa seca de dois cultivares de soja foi de 1,20 e 1,32g  $\text{M J}^{-1}$ .

Dentre os diversos trabalhos que se propõem a analisar parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do algodão, destaca-se o de Beltrão et al., (1988). Naquela oportunidade, efetuou-se uma análise de crescimento do algodoeiro herbáceo de curta duração, cultivar CNPA Precoce I, sob condições de período curto de chuvas. Chegaram a seguinte conclusão: que entre os diferentes espaçamentos e níveis populacionais testados (50.000 plantas/ha, 83.000 plantas/ha e 100.000 plantas/ha) não houve alteração no rendimento da cultura, que apresentou média de 1.377 kg/ha. Porém, nos níveis populacionais mais elevados, houve redução na altura e diâmetro caulinar. Observou-se que para o nível populacional de 100.000 plantas/ha, existiu maior competição intraespecífica, o que acarretou numa redução significativa da biomassa total e área foliar por folha.

Aspectos semelhantes aos parâmetros de crescimento mostrados por Ferri (1986), foram demonstrados por Felipe et al. (1983), quando analisaram medidas de crescimento de diversas culturas e por Bergamaschi et al., (1988), quando estudaram a cultura do feijoeiro.

Mayers et al., (1991) cita que a radiação fotossinteticamente ativa e o coeficiente de extinção ( $k$ ) são fatores que influem no desenvolvimento da área foliar, duração da área foliar, e no potencial de massa seca.

Payne et al. (1991) afirmam que a área das folhas e sua relação com a massa seca da folha, são parâmetros importantes em muitos processos agrônômicos e ecológicos, incluindo fotossíntese, transpiração e equilíbrio de energia do campo. Já Redelfs et al. (1991) determinaram várias combinações lineares e as proporções dos dados de reflectância espectral foram utilizadas para quantificar parâmetros de crescimento da cultura tais como índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento absoluto.

Almeida et al. (1992), verificando os efeitos da anoxia no crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo, sob condições de casa de vegetação, concluíram que independente da cultivar utilizada, o encharcamento do solo por um período de 120 horas, na fase de botão floral, reduziu a área foliar em 30%, e a fitomassa epigea em 36%, com relação as testemunhas, além de reduzir a produção de algodão em caroço e em pluma, em 38 e 41%, respectivamente. Quando o estresse anoxítico ocorreu na fase de floração, não houve redução na área foliar; houve aumento de 22% na altura das plantas e de 28% na fitomassa total das plantas. Neste caso, não houve redução na produção de algodão em caroço nem em pluma.

Vale salientar que TAL decresce no final do ciclo das espécies vegetais, em razão da senescência foliar, como verificaram Rodrigues (1992) e Moreira (1993).

As diferenças na TAL proporcionam a elevação da fotossíntese líquida, em função, principalmente, do aumento do índice de área foliar, implicando maior interceptação e fixação de energia luminosa por unidade de área foliar (Bergamaschi et al. 1988), com maior assimilação de carbono, aliado provavelmente, à maior absorção de nutrientes (Millar & Gardne, 1972).

Gaastra (1958), salienta que o acréscimo de matéria seca numa cultura depende do crescimento e desenvolvimento de sua área foliar, enquanto Stoy (1983), assinala que a taxa fotossintética pode ser muito importante na determinação das taxas de crescimento. Milthorpe (1986), assinala a importância da área foliar como fator que influencia na taxa de crescimento e minimiza a importância da taxa fotossintética, entretanto Stoy (1983), salienta que a taxa fotossintética pode ser muito importante na determinação das taxas de crescimento. Para estudos biológicos da planta, o conhecimento da área foliar ou índice de área foliar é muito importante, uma vez, que as folhas apresentam relevantes reações químicas processadas nos vegetais superiores e através delas, estima-se o potencial de assimilação e transpiração da cultura (Soukup et al., 1986).

Em muitos estudos acerca do crescimento das culturas, o IAF e a duração da área foliar, têm sido relacionados com as produções biológica e econômica (Pearce et al., 1965 e Welbank et al., 1966). Para se determinar a duração da área foliar, esta deve ser estimada em vários estágios de desenvolvimento da planta. As relações entre o estresse hídrico e o desenvolvimento dos vegetais são muito complexas, pelo número de processos fisiológicos envolvidos, que são afetados de modos e intensidades diferentes. Entretanto, sabe-se que o estresse hídrico atua direta e fisicamente, reduzindo o crescimento das plantas pela diminuição da turgescência celular (Hsiao, 1973) e exercendo um efeito negativo principalmente na fase inicial da expansão celular (Krudrev, 1974). Com isso, há intensa redução da taxa de crescimento da área foliar, que se constitui num dos primeiros sintomas do estresse hídrico (Begg & Tunner, 1976). O termo duração da área foliar tem provocado equívocos, porque reflete uma idéia de tempo, conflitando quase sempre com o ciclo de espécies vegetais. Porém,  $D_a$  (Duração da área foliar) expressa, em termos quantitativos, quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa (Sestak & Catsky., 1971). A variação do IAF durante o ciclo da cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento, em função do aumento da massa em relação ao tempo, e o desenvolvimento, em função das fases da planta e, conseqüentemente, a produtividade da cultura (Araújo et al., 2000).

Dantas & Escobedo (1998), analisando o crescimento da cultura, notoriamente mostraram bastante sensibilidade da cultura às variações de energia do meio ambiente, sendo que os ambientes que tem proteção no verão, tendem a propor melhores condições energéticas para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da mesma. Segundo (Pereira & Machado, 1987), a TCC é tida como o somatório dos diversos componentes da planta, ou seja, da variação da matéria seca com o tempo, representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, isto é, sua produtividade primária.

## **2.2 - Importância dos Componentes do Balanço de Radiação**

A energia solar é a principal fonte de energia para o ambiente e é responsável pelo processo da fotossíntese e, conseqüentemente, pela produção das plantas cultivadas. No setor agrícola, sua primordial função é dada pelas transformações bioquímicas nos vegetais, proporcionadas pelo número de horas de incidência de brilho solar nas culturas; além de determinar a época de floração e frutificação, influencia na cor, sabor e odor das frutas, vegetais, etc. O Sol e a Terra emitem praticamente como corpos negros a temperaturas aproximadas de 5770 e 300 k, respectivamente. Pela Lei de Planck, verifica-se que grande parte da radiação emitida pelo Sol se acha na faixa espectral de 0,2 a 3,0  $\mu\text{m}$ , com um pico em torno de 0,55  $\mu\text{m}$ . Por esta razão, a radiação solar é denominada radiação de ondas curtas e a terrestre de radiação de ondas longas (Vianello & Alves, 1991). De acordo com Monteith (1958), a agricultura pode ser considerada como uma forma de aproveitamento da energia solar, sendo isso mediante um adequado fornecimento de minerais e nutrientes necessários à manutenção e desenvolvimento da planta. Gates (1965) afirma que as plantas absorvem cerca de 50% da radiação de ondas curtas incidentes e 97% da radiação de ondas longas provenientes da atmosfera. Já para Chang (1968), o efeito que a radiação exerce sobre as plantas varia conforme o comprimento de onda, quais sejam:

- até 0,28 $\mu$ , provoca rapidamente a morte das plantas;
- de 0,28 a 0,40 $\mu$ , é bastante nociva até 0,32 $\mu$  e acima desse limite provoca a inibição do crescimento (ultravioleta e violeta);
- de 0,40 $\mu$  a 0,50 $\mu$ , tem acentuada absorção pela clorofila e xantofila (correspondem, aproximadamente, às cores índigo e azul);
- de 0,51 a 0,61 $\mu$ , abrangendo praticamente as cores verde e amarela, exercem pouca influência no processo fotossintético
- 0,61 a 0,72 $\mu$ , coincidem aproximadamente com as cores laranja e vermelho e possuem acentuada ação fotossintética;
- 0,72 a 1,0 $\mu$ , interferem na elongação, coloração dos frutos e germinação das sementes;
- acima de 1 $\mu$ , ao que se sabe, não exercem nenhum papel especial, e quando absorvidos são usados nos processos bioquímicos.

Doorenbos & Kassam (1979) afirmam que, se a disponibilidade de luz e condições climáticas foram adequadas a produção de biomassa será máxima quando a necessidade de água das plantas for suprida ao longo de todo o ciclo. Para Rosenberg et al. (1983), os efeitos biológicos da radiação difusa são muito significativos, devido à sua maior penetração na comunidade vegetal. Já Karalis (1989) afirma que as plantas utilizam tanto a radiação solar direta quanto a difusa, na realização do processo fotossintético.

Sentelhas et al. (2000) salientam que o conhecimento da radiação solar como elemento meteorológico, é de grande importância para a estimativa de produção das culturas, além de outras aplicações, como em estudos ecológicos e de disponibilidade energética, pois a maior parte da energia disponível na Terra é da radiação solar.

Yao & Shaw (1964) mostraram que o saldo de radiação, num experimento realizado com trigo, variou consideravelmente com o espaçamento entre fileiras e com a densidade de plantas. Da mesma forma, Aubertin & Peters (1961) citados por (Owonubi et al., 1975), mediram a captação da radiação pelas plantas e verificaram que a distribuição espacial das plantas tem um grande efeito na quantidade de energia absorvida pelas mesmas. Hanks et al. (1961) afirmaram que, em geral, o saldo de radiação aumenta com o escurecimento da superfície,



como resultado da diminuição do albedo. Já Denmead et al. (1962), usando vários saldos radiômetros em uma cultura de trigo, verificaram que o aumento do espaçamento entre fileiras menor que 1,0m pode causar um aumento de 15 a 20% no processo fotossintético.

Aubertin & Peters (1961), citados por (Owonubi et al., 1975) observaram em trabalho com sorgo, que num espaçamento de 50 cm entre fileiras, a cultura absorveu 3,1 vezes mais energia do que num espaçamento de 100 cm. Por outro lado, num espaçamento de 100 cm, a superfície do solo absorveu 1,4 vez mais energia do que no espaçamento de 50 cm.

A obtenção do saldo de radiação requer a determinação ou estimativa da radiação de ondas curtas ( $\lambda < 3\mu\text{m}$ ) e de ondas longas (ou radiação térmica) que incidem sobre a superfície ou são refletidas por uma superfície. A atmosfera é muito menos transparente à radiação de ondas longas em relação à radiação de ondas curtas (Jensen et al., 1990).

O balanço de radiação pode ser obtido através de medidas diretas de alguns de seus componentes e ou estimativas dos demais termos e em geral apresenta-se sob a seguinte expressão (Tanner, 1960; Berliner et al., 1984; Jensen et al., 1990):

$$R_n = (R_C \downarrow + R_L \downarrow) - (R_C \uparrow + R_L \uparrow) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_C^4 \quad (2.1)$$

em que  $R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $R_C \downarrow$  a radiação de ondas curtas que chega à superfície ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $R_L \downarrow$  a radiação de ondas longas que chega à superfície ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $R_C \uparrow$  a radiação de ondas curtas que é refletida pela superfície ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $R_L \uparrow$  a radiação de ondas longas emitida pela superfície ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $\varepsilon$  a emissividade da superfície,  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann ( $= 5,675 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ) e  $T_C$  é a temperatura da superfície (solo ou copa vegetal) ( $^{\circ}\text{K}$ ). O termo  $\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_C^4$  da Equação 2.1 é a energia radiante emitida pela superfície.

A radiação solar incidente à superfície varia com a latitude, altitude, ângulo de elevação do sol, cobertura de nuvens, turbidez atmosférica e época do ano (Chang, 1968; Mota, 1983; Cunha et al., 1989b e Azevedo et al., 1990a). Nem toda radiação solar global que chega à superfície é absorvida pelo solo ou pelas plantas que compõem a superfície. Parte desta é imediatamente refletida.

Cunha et al., (1993), constataram em cultura de alfafa que a densidade de fluxo de radiação de ondas curtas incidente ( $R_{si}$ ) foi a principal determinante da variação da magnitude das demais componentes do balanço de radiação à superfície, verificando-se, em módulo, uma relação direta entre o  $R_{si}$  e os outros fluxos de energia radiante. Comportamento semelhante foi observado nas determinações do balanço de radiação feitas por Cunha et al., (1989a) em milho e Fontana et al., (1989) em girassol.

O coeficiente de reflexão (razão entre os fluxos de radiação solar refletido e incidente à superfície) é um parâmetro indispensável para se estabelecer o balanço de radiação à superfície. Este coeficiente, também chamado de reflectância ou albedo da superfície, para uma superfície vegetada, depende da sua cor, condições de umidade do ar e do solo, percentagem de cobertura do solo, arranjo foliar, ângulo de inclinação do Sol, quantidade e tipo de nuvens (Azevedo et al., 1990b). A reflectância geralmente aumenta com o brilho visual da superfície.

Angström (1925) observou que, depois de uma chuva, o coeficiente de reflexão da grama de cor clara decresceu de 0,32 para 0,22. Os raios solares verticais geralmente produzem albedo menor que os raios oblíquos ou inclinados. Por isso o albedo de uma superfície é elevado após o nascer e antes do pôr-do-sol e baixo em torno do meio-dia (Ayoade, 1983).

Budiko (1958) afirmou que a reflectância da radiação de ondas curtas em um solo escuro e úmido é de 11% e de 20 a 25% num solo coberto com plantas de algodão. A reflectância depende fortemente da elevação solar e do ângulo formado entre os raios solares e as superfícies das folhas (Azevedo et al., 1989 e Leitão, 1989).

A variação diurna do albedo em função do ângulo de elevação do Sol para o algodão é dada por RIJKS (1967), citado por (Blad e Baker (1972). Estes autores e Leitão (1989), mostraram que o albedo de uma cultura de soja apresentou um valor médio em torno de 0,19 para o período compreendido entre o plantio e a floração).

Em trabalho realizado com soja André & Viswanadham (1983) concluíram que o albedo varia com o desenvolvimento da cultura mas também, é inversamente relacionado com a altura da cultura. Fritschen (1967) observou que

o albedo do algodão tende a aumentar com o desenvolvimento da cultura, variando de 0,18 com o solo praticamente nu a 0,27 com a cultura a 1,15 m de altura.

Jacob & Van Pul (1990) verificaram que o albedo médio diário estimado a partir de médias de 15 minutos foi de 5% maior que os valores estimados com base no ângulo de elevação solar.

Azevedo et al., (1990b), objetivando o ajustamento das equações inerentes ao balanço de radiação às condições climáticas locais e das culturas de soja, feijão macassar e algodão herbáceo, observaram para todas as culturas que a reflectância da vegetação ( $\rho_v$ ) evidenciou uma variação diurna com máximos ao nascer e por de sol e mínimos diurnos em torno do meio dia, e valores 3% inferiores para dias posteriores as irrigações. A reflectância atingiu um valor máximo no estágio de máximo desenvolvimento vegetativo das culturas, com as seguintes variações ao longo das estações de cultivo ( $0,15 \leq \rho_{soja} \leq 0,25$ ;  $0,12 \leq \rho_{feijão} \leq 0,21$ ;  $0,14 \leq \rho_{algodão} \leq 0,25$ ).

De acordo com Davies & Idso (1979) o albedo de superfície vegetada é influenciado por vários fatores como: tipo de vegetação, índice de área foliar, percentagem de cobertura do solo e ângulo zenital do sol.

Ling & Robertson (1982) propuseram que na agricultura, o albedo é de particular importância tendo em vista sua influência no saldo de radiação de ondas curtas disponível na superfície da Terra para os processos que consomem tal energia, como a fotossíntese e a evaporação.

Segundo Dirmhirn & Belt (1971) o ângulo de elevação do Sol e a estrutura física da superfície tende a modificar o número das reflexões dentro da camada vegetativa e, portanto, o total de radiação refletida. O conhecimento do albedo e sua variação são muito importantes na tentativa de se prognosticar o saldo de radiação sobre uma superfície com base na radiação solar, especialmente quando se deseja alta precisão.

A superfície da Terra, quando aquecida pela irradiação solar, torna-se um corpo emissor de radiação de ondas longas. Isto se deve ao fato de que mais de 99% da radiação que é emitida pela superfície terrestre encontra-se compreendida na faixa de onda de 4 a 100 $\mu$ m. A radiação que chega à superfície

da Terra durante a noite é conhecida como radiação noturna, sendo que, desta forma, a atmosfera é a principal fonte de energia a noite.

A radiação solar que chega à superfície da Terra representa apenas uma parte da radiação que chega no topo da atmosfera, visto que, devido a reflexão por nuvens, absorção e difusão pela atmosfera, somente uma parte atinge diretamente à superfície, enquanto que o restante, representa as radiações difusa e térmica do céu. A energia utilizada nos processos de aquecimento/resfriamento do ar e do solo, de transferência de água, na forma de vapor, da superfície para a atmosfera, e no metabolismo das plantas e animais, é proveniente da radiação solar. Assim, é importante o conhecimento do saldo de radiação à superfície para estudos, por exemplo, das perdas d'água de solos vegetados para a atmosfera. Esse saldo de radiação pode ser obtido tomando-se como base os fluxos de radiação de onda curta e de onda longa incidentes e refletidos pela superfície (Azevedo et al., 1990b).

Santos et al., (1984) apresentam uma revisão a respeito da radiação de onda longa, em Tucuruvi, que inclui estudos sobre emissividade, irradiância e o efeito das nuvens, e a estimativa da radiação de onda longa utilizando observações de superfície. Manzi et al. (1985) testaram modelos que permitem a estimativa da radiação de onda longa em pesquisa realizada em floresta, na região de Manaus. André et al. (1988), observaram que o saldo de radiação de onda longa apresentou o mesmo comportamento diário dos demais termos do balanço de radiação, com amplitudes de  $-187,67 \text{ w/m}^2$  e  $-131,17 \text{ w/m}^2$ , para as estações chuvosa e seca, respectivamente, sobre a Floresta Amazônica.

Teixeira et al. (1997) determinaram o saldo de radiação acima ( $R_{n,s}$ ) e abaixo ( $R_{n,i}$ ) da folhagem da cultura da videira e sua correlação com o índice de área foliar (IAF), em Petrolina-PE. Observaram que a relação de  $R_{n,i}/R_{n,s}$  decresce e o IAF cresce rapidamente, alternado as proporções de energia disponível ao sistema de cultivo, absorvidas pelo solo e pelas plantas. Já Alves & Azevedo (1997), ao determinarem o balanço de radiação num cultivo de melão, observaram que o saldo de radiação representou 55%, 59% e 64% da radiação solar incidente no 5º, 20º e 48º dia após a semeadura, respectivamente.

Segundo André et al., (1988) estudaram as variações diárias dos componentes do balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica de terra firme,

e encontraram valores máximos da  $R_g$  iguais a  $900 \text{ w/m}^2$  e  $1000 \text{ w/m}^2$  e de  $R_n$  iguais a  $600 \text{ w/m}^2$  e  $700 \text{ w/m}^2$ , respectivamente, para as estações seca e chuvosa. Moura (1998), realizou o balanço de radiação sobre a superfície do solo descoberto em Mossoró-Rn, para primavera e inverno, e verificou que na primavera o balanço de radiação apresentou superioridade, em termos de valores, quando comparado com a estação de inverno, em todos os seus componentes, com acréscimo de 22,02% para a radiação global, 34,33% para a radiação refletida e 5,81% para o saldo de radiação.

Embora para uma determinada superfície o albedo seja variável, via de regra utiliza-se um valor constante. Diversos pesquisadores, entre eles Burman & Pochop (1994) e Rodrigues et al., (1997) sugerem valores mínimos, máximos e médios para diversas superfícies vegetadas não varia muito e que muitas culturas refletem em torno de 20-30% da radiação solar incidente. Os resultados obtidos por Idso et al., (1975), determinaram que para o solo úmido, a variação diurna do albedo exibe uma simetria em torno do meio-dia solar em resposta aos efeitos do ângulo de elevação do Sol. Este efeito pode ser atenuado, à medida que o solo perde umidade, tendendo novamente à simetria quando o solo torna-se completamente seco. Oliveira (1998), trabalhando com a cultura do amendoim irrigada por aspersão, no semi-árido nordestino, constatou para dias claros e sem irrigação, valores de albedo na ordem de 25%. Já para dias com irrigação observou-se uma queda brusca do albedo médio, em torno de 9%, por volta de meio-dia. Verificou também redução no albedo médio diário à medida que a cultura foi se desenvolvendo e cobrindo totalmente o solo.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Área Experimental

O experimento foi realizado no período de agosto a dezembro de 2001 no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa - Algodão, localizado no município de Barbalha-CE (latitude de 7° 18' 39 "S; longitude de 39° 23' 39" W; e altitude de 415,74 m), em uma área de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup>. A área experimental situa-se na microrregião do Cariri cearense.



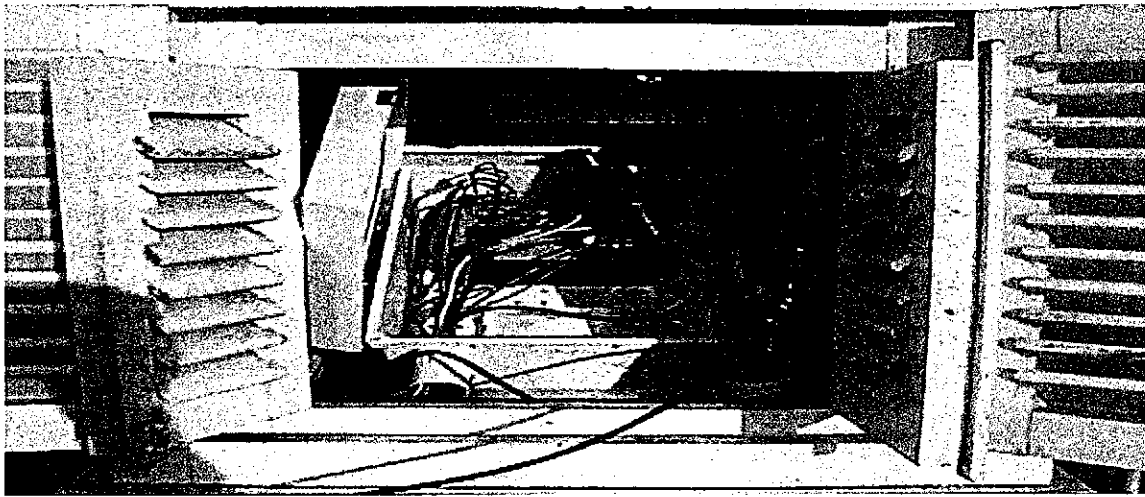
Figura 4 – Mapa da área experimental localizada em Barbalha-CE.



a



b



c

**Figura 4.0** - Visão geral da área (a), capulho do algodoeiro (b) e abrigo com datalogger (c).

### 3.2 – 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 clima sub-úmido, com pequeno excesso hídrico no inverno, megatérmico, e com vegetação todo o ano.

### 3.3 – Cultura

A semente utilizada no plantio foi a do algodão herbáceo precoce BRS-201 (*Gossypium. hirsutum*), que é oriunda do cruzamento dialético parcial entre dois grupos de seis e quinze cultivares, parte da população em  $F_2$  foi conduzida até  $F_4$  pelo método do Bulk de onde foi selecionada a linhagem CNPA 96 – 12, no ano de 1996. Todas as etapas de obtenção dessa cultivar foram realizadas por técnicos da Embrapa/Algodão. A cultivar escolhida foi plantada em 17 de agosto de 2001, em fileiras duplas, com espaçamento de 1,8 m entre duplas e 0,40 entre simples, resultando em densidade populacional 100.000 plantas/ha (10 plantas por metro quadrado).

### 3.4 – 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 da Paraíba, Campina Grande – PB, a partir das amostras retiradas no campo nas faixas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm.

A partir dos resultados obtidos da análise do solo da área experimental, foi possível classificar o solo do lote 10a, 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, de 51,15% de argila, 31,82% de areia e a diferença em limo.



Tabela 4 – Características físico-hídricas de solo da área experimental.

Características		Profundidade		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
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 <sup>-3</sup>		1,33	1,36	1,36
Densidade Real g.cm <sup>-3</sup>		2,65	2,65	2,65
	0,33 atm massa	21,89%	24,57%	26,92%
	15,00 atm massa	10,88%	14,05%	15,64%

### 3.5 – Medições morfológicas

No interior da área experimental, com cerca de 90 m x 100 m, demarcou-se um estande com 10 m x 10 m. Dentro do estande foram selecionadas, ao acaso, 20 plantas, que tinham suas alturas medidas semanalmente com trena centimetrada.

Semanalmente, foram escolhidas cinco plantas fora do estande, destinadas às medições das fitomassas epígea fresca (FF) e seca (FS). A escolha dessas plantas deu-se segundo critério que procurava assegurar a representatividade da comunidade como um todo. Nesse sentido, obtinha-se a altura média das 20 plantas do estande e, em seguida, eram escolhidas plantas com tal altura média. Com as cinco plantas eram, ainda, medidas o comprimento de cada uma das folhas dessas plantas, o método utilizado nesta pesquisa foi o destrutivo, com vistas à determinação da *área foliar* (AF) de cada planta e do correspondente *Índice de área foliar* (IAF), índice de área foi calculado a partir da área foliar medida em cm<sup>2</sup> pela área em m<sup>2</sup>, isto é, usou-se o quociente da AF pela área ocupada. As plantas, após pesagem em balança de precisão, tinham suas folhas submetidas às determinações de seus comprimentos. Em seguida, eram encaminhadas para secagem em estufa a 70°, permanecendo ali até a manutenção de peso constante.

O crescimento da cultura foi acompanhado através de medições semanais da cultura, distribuídas ao longo do campo experimental.

### 3.6 - Instrumentos Utilizados no Balanço de Radiação

Para efetivar o balanço de radiação foram utilizados dois piranômetros da Eppley, instalados no interior da área experimental, sendo que aquele destinado à medição da radiação solar global ( $R_s$ ) foi mantido a 2 m de altura. O outro piranômetro, destinado às medições da radiação solar refletida pela cultura,  $R_r$ , foi mantido a 1,5 m acima do dossel do algodoeiro e voltado para a cultura.

Instalou-se, ainda, um saldo radiômetro da Keep Zonen, mantido horizontalmente a 1,5 m acima do dossel do algodoeiro e sobre uma fileira. Por último, instalou-se um termômetro ao infravermelho da Everest, formando  $45^\circ$  com a vertical e orientado ao longo de uma fileira com direção norte. O mesmo foi utilizado para medir a temperatura da copa da cultura ( $T_c$ ).

Utilizou-se um sistema de aquisição de dados (Micrologger 21X da Campbell Inc), programado para coletar os dados da  $R_g$ ,  $R_r$ ,  $S_r$  e  $T_c$ , a cada 5 seg e extrair as suas médias a cada 20 min. Quinzenalmente, os dados armazenados no datalogger foram transferidos para um módulo de armazenamento (SM -192 da Campbell Inc). Em seguida, esses dados foram transferidos para um microcomputador através de uma interface (SC-532, também da Campbell Inc) e Software (PC-208e) apropriados.

### 3.7 - Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação utilizado na área experimental foi de sulcos, utilizando-se o método da configuração dupla entre fileiras.

A lamina de água destinada a irrigação era de 470.000l. A quantidade de água que era enviada as irrigações era de 470.400,00 l num turno de rega 3:52hs. A vazão do sifão era 0,65mm/s, a de cada suco era de 9718,56 l/hora. O turno de rega era em média de 3:52 horas e 52 minutos.

Segundo Beltrão (1999), o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) tem sido cultivado através de vários métodos de irrigação, sendo que o de sulcos é o

mais utilizado, exceto em solos de textura arenosa e em regiões de extrema escassez de água. Este tipo de irrigação, consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos situados paralelamente às fileiras das plantas, o tempo necessário para que a água infiltrada ao longo do sulco seja suficiente para deixar o solo na zona radicular da cultura em capacidade de campo.

No caso do algodoeiro, a área de molhamento deve ser de 25% a 30% da superfície total, para evitar desperdícios por evaporação e para reduzir os custos com mão-de-obra e herbicidas no controle das plantas. O sistema de sulcos abertos é o que exige, em geral, mais mão-de-obra por unidade de área e experiência do irrigante, para distribuir a água nos sulcos e manter o controle da vazão, durante a aplicação.

### **3.8 - Tratos Culturais**

Durante a realização do experimento a cultura esteve livre de ervas daninhas através de capinas realizadas, quando necessário.

O controle fitossanitário e a adubação foram feitos por técnicos da Embrapa - Algodão, até a cultura atingir o máximo desenvolvimento. Durante o seu desenvolvimento foram feitas irrigações semanais para atender as necessidades hídricas da cultura.

### **3.9 - Análise de Crescimento da Cultura**

As medições semanais da fitomassa fresca e seca, e da área foliar média das três plantas coletadas, serviram de base para a determinação dos diferentes parâmetros de crescimento usados na pesquisa. Tais medições foram iniciadas a partir do 21º dia após a semeadura.

Na área demarcada foram selecionadas 20 plantas, para o acompanhamento semanal de suas alturas médias, nos dias correspondentes a tais medições eram cinco plantas em cada parcela para a obtenção da área foliar por meio da seguinte equação:

$$AF = 1,399 + 0,632 \cdot LA \cdot CO \quad (3.0)$$

Os índices de área foliar (IAF) e de área foliar específica (IAE), foram obtidos segundo as seguintes expressões (Beadle, 1993):

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (3.1)$$

onde AF é a área foliar média das plantas colhidas em campo (m<sup>2</sup>), S a área ocupada pela amostra (m<sup>2</sup>) e p é a fitomassa epígea seca (g).

As taxas de crescimento absoluto (TCA), de crescimento relativo (TCR) e de assimilação líquida (TAL), foram calculadas através das seguintes expressões (Blackman & Wilson, 1951):

$$TCA = \frac{p_2 - p_1}{t_2 - t_1} \quad (3.3)$$

e

$$TCR = \frac{\ln(p_2) - \ln(p_1)}{t_2 - t_1} \quad (3.4)$$

e

$$TAL = \frac{p_2 - p_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln(A_2) - \ln(A_1)}{A_2 - A_1} \quad (3.5)$$

e

$$TCC = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (3.6)$$

em que p<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> representam a fitomassa seca (g) da cultura na semana atual (t<sub>2</sub>) e anterior (t<sub>1</sub>), respectivamente; A<sub>2</sub> e A<sub>1</sub>, por sua vez, são as áreas foliares médias (cm<sup>2</sup>) das quatro plantas coletadas na semana atual e anterior, respectivamente.

### 3.10 - Balanço de radiação sobre a cultura

Para o estudo do balanço de radiação sobre a cultura numa superfície vegetada, se faz necessário caracterizar os fluxos incidentes, refletidos e/ou emitidos pela superfície. Para caracterizá-lo, utilizou-se a seguinte expressão (Rosenberg et al., 1983):

$$R_n = R_s(1 - \alpha) + R_{atm} - R_{emit} \quad (3.6)$$

onde  $R_n$  é o saldo de radiação ( $W/m^2$ );  $R_s$  é a radiação solar global ( $W/m^2$ );  $\alpha$  é o albedo da cultura;  $R_{atm}$  é a radiação de onda longa atmosférica emitida na direção da cultura ( $W/m^2$ );  $R_{emit}$  é a radiação de onda longa emitida pela cultura ( $W/m^2$ ), que é obtida em função da emissividade da cultura, considerada igual a 0,98, de acordo com Silva et al., (1995), e de  $T_c$ , que é a temperatura da cultura, medida com o termômetro infravermelho.

A densidade de fluxo radiativa de onda longa, emitida pela cultura, foi calculada segundo a expressão:

$$R_{emit} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_c^4 \quad (3.7)$$

onde  $\varepsilon$  é a emissividade da cultura (0,98),  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ) e  $T_c$  é a temperatura da cultura (K). A radiação de onda longa atmosférica,  $R_{atm}$ , foi obtida como resíduo da Equação 3.6.

**DADOS DE IRRIGAÇÃO DA ÁREA 10-A**  
**CAMPO EXPERIMENTAL DE BARBALHA – CE**  
**2001**

<b>Data</b>	<b>Início da irrigação (h)</b>	<b>Término da irrigação (h)</b>	<b>Tempo de escoamento (h)</b>	<b>Tempo total (h)</b>
06/08/01	14:30	20:00	-----	5:30
17/08/01	16:30	19:00	-----	2:30
21/08/01	10:00	11:00	1:30	2:30
25/08/01	10:30	11:20	2:10	3:00
31/08/01	07:00	08:00	2:00	3:00
06/09/01	07:00	08:00	3:00	4:00
14/09/01	07:00	07:50	3:10	4:00
21/09/01	08:00	09:00	3:00	4:00
26/09/01	14:00	15:00	2:00	3:00
03/10/01	07:00	08:00	3:00	4:00
10/10/01	05:20	06:30	3:30	4:40
15/10/01	Chuva	7,8mm	-----	-----
16/10/01	Chuva	5,4mm	-----	-----
25/10/01	09:00	10:00	2:00	3:00
09/11/01	10:00	11:20	2:10	3:30
16/11/01	08:00	09:20	1:30	2:20
23/11/01	Chuva	2,5mm	-----	-----
24/11/01	09:30	10:30	0:30	1:30
25/11/01	Chuva	7,0mm	-----	-----
26/11/01	Chuva	2,0mm	-----	-----

**DADOS DE PRECIPITAÇÃO PARA OS SEGUINTE MESES DO ANO DE 2001  
EM BARBALHA – CE.**

AG.	P(mm)	SET.	P(mm)	OUT.	P(mm)	NOV.	P(mm)	DEZ.	P(mm)
1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2	
3		3	0,6	3		3		3	21,6
4		4		4		4		4	2,5
5		5		5		5		5	32,0
6		6		6		6		6	0,6
7		7		7		7		7	5,8
8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9	8,9
10		10		10		10		10	0,2
11		11		11		11		11	71,6
12		12		12		12		12	7,2
13	0,6	13		13	1,0	13		13	21,0
14		14		14	2,2	14		14	
15		15		15	7,1	15		15	
16		16		16	7,2	16		16	
17		17		17	3,3	17		17	
18		18	1,0	18		18		18	
19		19		19		19		19	
20		20		20		20		20	
21		21		21		21		21	0,6
22		22		22		22		22	3,0
23		23		23		23	1,5	23	
24		24		24		24		24	
25		25		25		25	6,2	25	
26		26		26		26	1,3	26	
27		27		27	0,6	27	1,9	27	
28		28		28	5,3	28		28	6,9
29		29		29		29	1,7	29	12,6
30		30		30	10,4	30		30	25,2
31		31		31		31		31	63,0
Total	1,2		1,6		37,1		12,6		211,1
Média	0,6		0,8		---		---		---
Máxi.	0,6		1,0		10,4		6,2		63,0
Míni.	0,6		0,6		0,6		1,3		0,2

---

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 – Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo**

#### **4.1.1 – Altura de plantas**

A variação estacional da altura de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-201 se encontra representada na Figura 4.1a. Como pode ser observado, o seu crescimento estabilizou-se em torno do DAS=98, e quando alcançou 87cm que é a altura máxima média, por outro lado sua altura máxima medida foi de 108,0 cm. Em outros estudos com a mesma variedade, a altura máxima foi de 120 cm. Já Silva et al. (1998), obtiveram altura de 0,9cm com o CNPA – Precoce 1, em experimento igualmente irrigado em Ipanguaçu, RN, no ano de 1993. Para esta pesquisa usou-se um software chamado de Lab Fit, onde se pode observar que a melhor curva de regressão para o modelo foi a Logística, pois esta representou muito bem o fenômeno físico da altura e o modelo utilizado apresentou um  $R^2$  de 0,9961. Beltrão et al.(1990), utilizando a cultivar CNPA Precoce 1, no município de Souza-PB em condições de sequeiro, no ano de (1987), obtiveram altura média máxima de 83,2 cm, estes resultados ocorreram no DAS=75.



#### 4.1.2 - Fitomassa epígea fresca

A fitomassa epígea fresca (FEF) das cinco plantas coletadas semanalmente se encontra representada na Figura 4.1b. O seu maior valor ocorreu no DAS=84, com cerca 388,04 g/planta. Na senescência seu valor atingiu cerca 363,38 g/planta, quando as irrigações haviam sido suspensas há cerca de quatro semanas. Silva et al. (1998) obtiveram FEF de 520 g/planta, que foi reduzida para 286,0 g/planta no final do ciclo da cultura, a variedade CNPA – Precoce 1. A exemplo dos mencionados pesquisadores, obteve-se uma equação de regressão destinada a estimativas da FEF em função do número de dias que se surgiram à sementeira. O modelo aqui obtido apresentou um  $R^2=0,9112$  e é uma função do tipo Gaussiana.

#### 4.1.3 – Fitomassa epígea seca

O comportamento estacional da fitomassa epígea seca-FES está representado na Figura 4.1c, onde os pontos representam os valores médios das plantas coletadas semanalmente, e a melhor curva de regressão ajustada aos valores médios semanais. O  $R^2$  obtido com o modelo foi igual a 0,9829, com curva de regressão Gaussiana. Verifica-se que os valores foram sempre crescentes até os DAS=91, sofrendo um decréscimo aos DAS=98 e voltando a aumentar aos DAS=105, chegando a alcançar 107,84g/planta e após esta semana o peso voltou a cair em virtude da fase de senescência e da perda de água para a atmosfera por meio da transpiração, vindo assim a caracterizar a diminuição do peso seco da planta.

Silva et al. (1998) e Souza (1994) obtiveram frações da FEF, e concluíram que a FES representaram 14% a 37,3% do peso de FEF. Nos estudos mencionados, realizados com a cultivar CNPA – Precoce 1, a FES alcançou valor máximo de 123g/planta, registrada no DAS=93. Nesta pesquisa, o máximo da FES ocorreu no DAS=105, com 107,84g/planta. Já para Beltrão et al. (1990), utilizando a CNPA Precoce 1, em experimento de sequeiro no município de

Souza-PB; no ano de (1987), obtiveram fitomassa epígea seca total de 98, 2 g no DAS=90.

#### 4.1.4 – Taxa de crescimento da cultura

A taxa de crescimento da cultura como é mostrada na Figura 4.4b, apresentou-se crescente do DAS=28 até o DAS=77, onde o seu crescimento após a o DAS=80 caiu devido ser o período em que a planta entra na fase de queda de suas estruturas reprodutivas, como folhas, frutos e outros componentes que fazem parte da planta. A TCC apresentou seu maior valor no DAS=70, tendo TCC igual a 0,04051 g/cm<sup>2</sup>/dia.

Segundo (Pereira & Machado, 1987), a TCC é tida como o somatório dos diversos componentes da planta, ou seja, da variação da matéria seca com o tempo, representa a capacidade de produção de fitomassa da cultura, isto é, sua produtividade primária. Segundo Beltrão et al. (1990), trabalhando com a cultivar CNPA Precoce 1, obtiveram valor máximo da taxa de crescimento da cultura (TCC), de 0,023g.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> no DAS=75 em experimento realizado em condições de sequeiro em Souza-PB, no ano de (1987).

#### 4.1.5 – Área foliar

Na Figura 4.2a, da Área Foliar (AF), mostra as fases fenológicas de crescimento da cultura do algodão, onde são apresentados dados semanais. Houve uma variação desde de o DAS=28 até o DAS=98, onde neste dia alcançou-se o maior valor da área foliar durante o ciclo vegetativo da cultura. O modelo obtido com o coeficiente de determinação R<sup>2</sup>=0,9829 e a curva de ajuste utilizada foi a Gaussiana, pois foi a que melhor se adequou ao fenômeno físico característico da Área Foliar. A AF medida máxima foi de 4026 cm<sup>2</sup>. Este período onde a cultura encontrava-se já na fase de maçãs totalmente abertas e com os

capulhos em fase de secagem para a colheita. O grande acúmulo de água no solo, destinado as plantas foi sem sombra de duvidas fator decisivo para o seu aumento como também para a captação de irradiação solar, ocasionando desta maneira a diminuição da evaporação. A equação de regressão matemática usada para dados medidos e estimados foi a seguinte:

$$AF=A*EXP (((X-B)^2)/2)$$

*Onde X é o DAS (Dias Após a Semeadura)*

Já Souza (1994), em experimento igualmente irrigado em Ipanguaçu, RN, obtiveram valor máximo para a AF de 3900 cm<sup>2</sup>/planta, com a cultivar CNPA 6H. De acordo com Beltrão et al. (1990), obtiveram área foliar máxima de 7088 cm<sup>2</sup> no DAS=75, para a cultivar CNPA Precoce 1, em condições de sequeiro no município de Souza-PB em 1987.

#### 4.1.6 – Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) do algodoeiro herbáceo cultivar BRS-201, obtido do DAS=98 ao DAS=126 (Dias Após a semeadura), pode ser observado na Figura 4.2c, onde na qual são apresentadas variações estacionais do IAF medido e estimado por regressão matemática que representa a curva ajustada ao tratamento resultou da seguinte equação:

$$AF=A*EXP (((X-B)^2)/2) \leftrightarrow \text{Gaussiana}$$

*Onde X é o DAS (Dias Após a Semeadura)*

O IAF permite avaliar o potencial de rendimento de uma cultura, com base no aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa. O IAF e a área foliar são numericamente diferentes, porém ambos refletem a eficiência no

aproveitamento da luz e/ou de nutrientes do solo. O  $R^2$  obtido foi igual 0,9501, com curva de regressão matemática Gaussiana.

Pode-se observar que o IAF atingiu seu valor máximo, que foi de 3,7 no DAS=98 em (21/11/01), após o DAS=105 houve um declínio no IAF, ocasionado desta forma uma diminuição de matéria seca. No final das observações de campo, constatou-se o início do período da senescência (murchamento e queda da folhagem). Desse modo a queda da folhagem resultou na diminuição da área foliar e conseqüentemente do IAF.

De acordo com Silva et al., (1998), encontraram valores médios máximos do IAF igual a 3,89 com a cultivar CNPA 6H, em Ipanguaçu, RN. Já para Beltrão et al. (1990), trabalhando com a cultivar CNPA Precoce 1 em condições de sequeiro, obtiveram IAF máximo de 5,53 no DAS=75 em Souza-PB no de 1987.

#### 4.1.7 – Taxa de crescimento absoluto

A taxa de crescimento absoluto (TCA), como é mostrada na Figura 4.3a teve seu máximo valor de crescimento no DAS=78 (Dias Após a Semeadura) em função das boas condições de crescimento e desenvolvimento em que as plantas foram submetidas, tendo em vista que a área foliar é de extrema importância para a cultura. A TCA é tida como uma característica do crescimento e esta medida indica a velocidade de crescimento ao longo do período de observação. Entre a 8ª e a 9ª semanas a TCA, apresentou um aumento de 2,44 g/dia. A partir da 10ª semana após a semeadura, houve um declínio no aumento da massa seca da cultura. Após o DAS=10 a TCA aumentou gradativamente apresentando um ganho de peso seco até o DAS=78. Observa-se, entretanto, que a velocidade de crescimento é bastante atenuada na senescência.

Souza (1994), encontrou TCA com valor máximo de 5,2 g/dia no DAS=86, em experimento realizado em Ipanguaçu, RN.

#### 4.1.8 – Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo está representada na Figura 4.3b, onde podemos observar o seu desempenho ao longo do seu ciclo fenológico. Os maiores valores da taxa de crescimento relativo ocorreram no DAS=1 ao DAS=10, sendo que seu maior valor foi igual a 0,1592 g/g/dia. O seu comportamento estacional ocasionou-se de forma gradativa e crescente, do início ao final do ciclo da cultura. A TCR depende da fitomassa epígea seca, pois está ligada diretamente a avaliação do crescimento vegetal, logo esta depende da quantidade de material que está sendo acumulado.

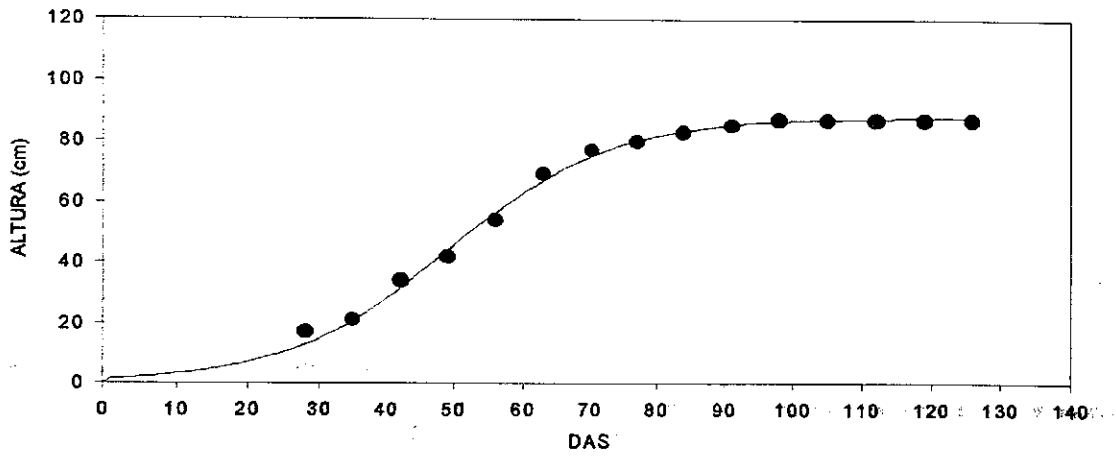
Segundo Souza (1994), trabalhando com a CNPA 6H, encontrou TCR média para todo o ciclo da cultura com 0,06 g/g/dia. Já para a taxa de crescimento relativo (TCR), Beltrão et al. (1990), obtiveram valor máximo de 0,107 g.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> no DAS=60, em experimento realizado em condições de sequeiro no município de Souza-PB, no ano de 1987.

#### 4.1.9 – Taxa de assimilação líquida

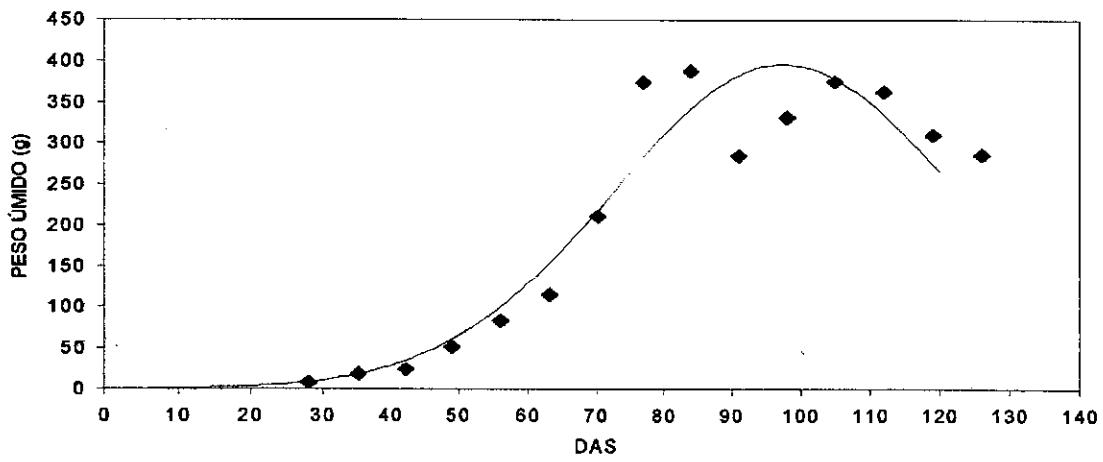
A taxa de assimilação líquida (TAL), apresentada na Figura 4.3c, apresentou seus valores máximos do DAS=28 ao DAS=66, onde podemos observar que seu valor máximo ocorreu no DAS=49, chegando a 0,001064 g/g/dia. De acordo com Benincasa (1988) este termo expressa a taxa fotossintética líquida, em termos de matéria seca produzida (em gramas), por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo. Assim contrariamente a outras plantas onde a existência de frutos em crescimento aumenta a atividade fotossintética das folhas (Hansen, 1970; Evans, 1975) o algodoeiro apresentou um decréscimo na atividade assimilatoria.

Para Souza (1994), obteve TAL de 0,013 g/g/dia em experimento com a CNPA 6H. Segundo Beltrão et al. (1990), para a taxa de assimilação líquida

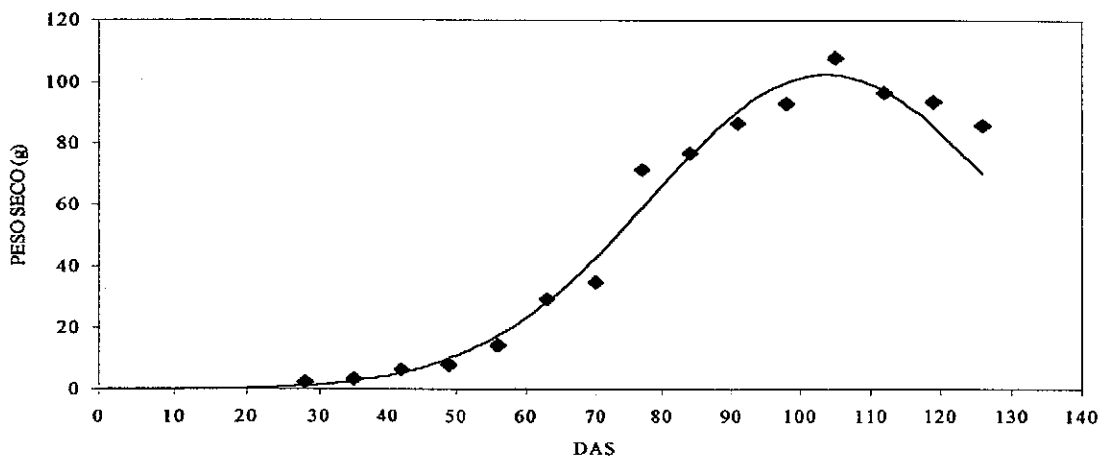
(TAL), obtiveram seu valor máximo no DAS=75, que foi de  $0,00705 \text{ g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em experimento realizado em condições de sequeiro em Souza, no ano de 1987.



a

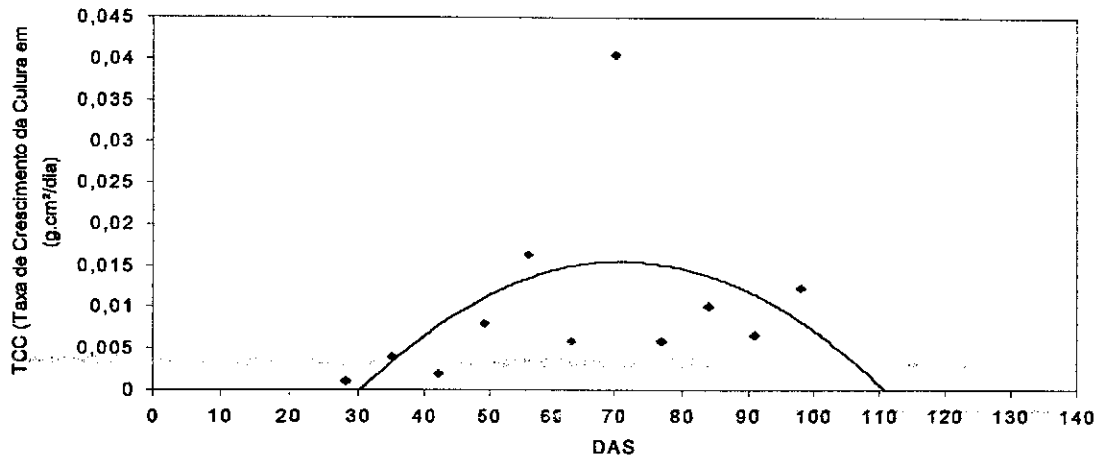


b

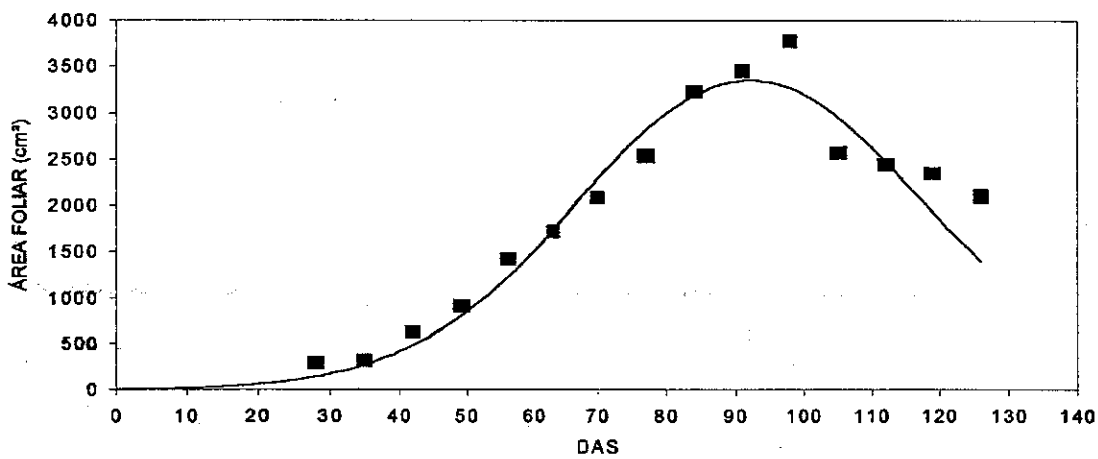


c

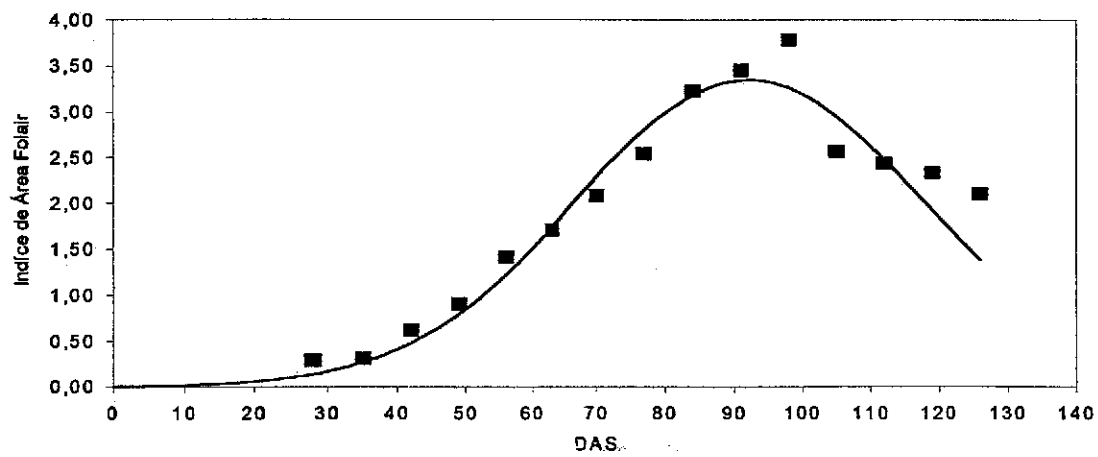
**Figura 4.1** – Altura de planta, fitomassas epígeas verde e seca, do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano de 2001



a



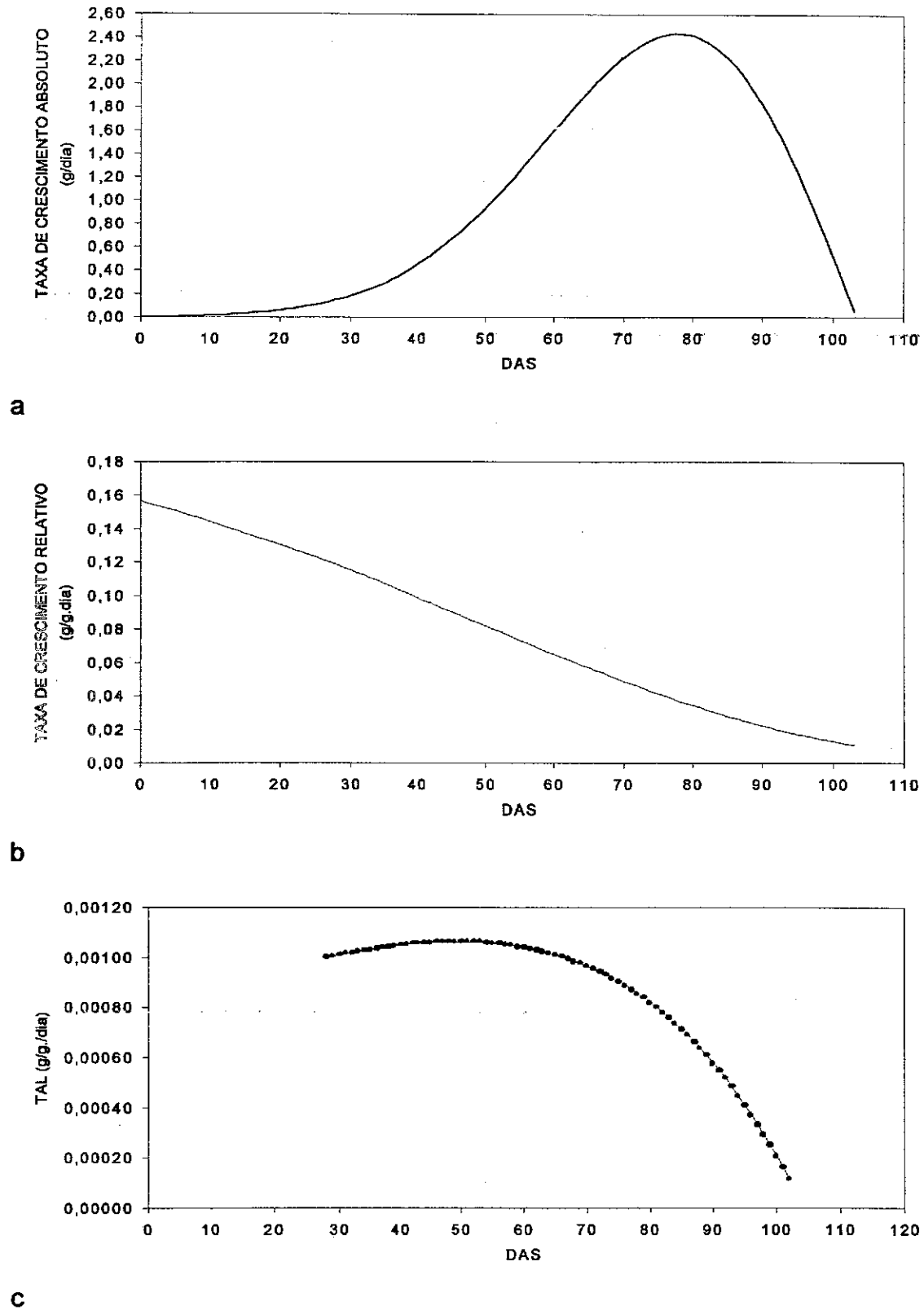
b



c

**Figura 4.2** – Taxa de crescimento da cultura em (g.cm<sup>2</sup>/dia), Área foliar (cm<sup>2</sup>), Índice de área foliar do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano 2001





**Figura 4.3** – Taxas de crescimento da cultura ( $\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), absoluto ( $\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), relativo ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) e assimilação líquida ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) do algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha, CE, ano 2001

#### 4.1.10 – Variação da Reflectância

O albedo mostrou algumas oscilações durante o período de observações (Figura 4.4.a). No início da coleta dos dados, após os 35 DAS pode-se notar que o  $\alpha$  sofreu um declínio, em seguida, voltou a aumentar, atingindo assim seu valor máximo aos 80 DAS; após este período o albedo só tendeu a decrescer até o final do ciclo, pois neste período as plantas já começam a atingir o estágio de senescência. A melhor curva de ajuste observada para este caso da correlação entre a Reflectância e os DAS foi à curva polinomial, onde seu  $R^2$  foi igual a 0,72. Durante os quatro estádios de crescimento e desenvolvimento da cultura, o  $\alpha$  apresentou-se de maneira regular, devido à quantidade de energia que as plantas absorveram durante o seu crescimento, e a uma alta quantidade de luz solar, fator este que é indispensável para um bom desenvolvimento fisiológico da planta e da fotossíntese que é vital as mesmas. Analisando-se a variação do albedo ao longo dos distintos subperíodos da cultura observa-se que este atingiu seu valor máximo quando a cultura alcançou o máximo desenvolvimento, com a máxima proporção do solo coberto pela vegetação, decrescendo em seguida no subperíodo de maturação com a queda das folhas, observadas também por Azevedo et al., (1990b) em culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil, Pinheiro & Pinheiro Junior (1989) com a cultura do trigo e Leitão et al., (1989) com a cultura de soja irrigada.

#### 4.1.11 – Relação entre o Índice Área Foliar com o Saldo de Radiação

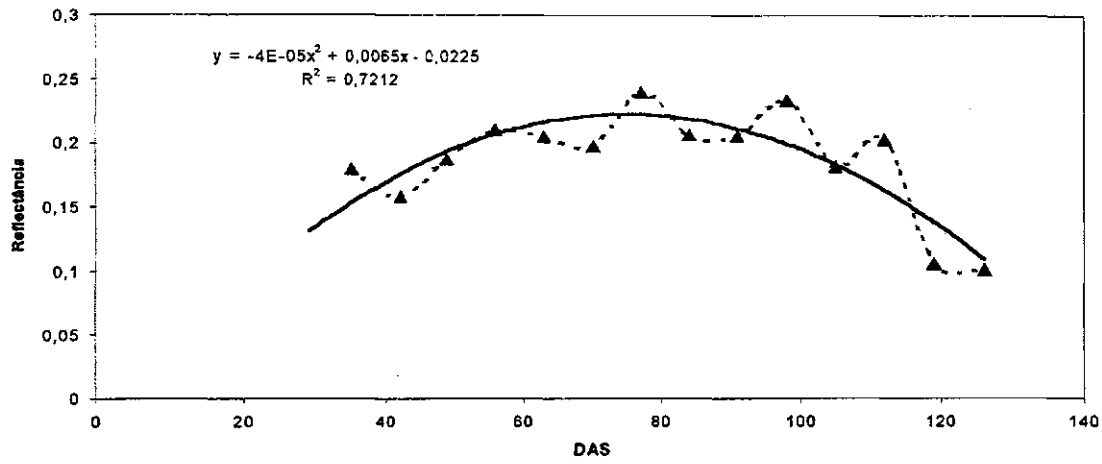
De acordo com a Figura 4.4.b, podemos observar que a relação do IAF com o saldo de radiação acumulado ( $R_n$ , a), foi muito boa, chegando o  $R^2$  a 0,96 isto, mostrou que o ajuste da curva foi muito bom, pois o Índice de Área Foliar, durante os quatro fases de crescimento e desenvolvimento da cultura foi sempre crescente, até chegar a fase de senescência, quando ocorreu um decréscimo do IAF, devido ao final do ciclo do algodoeiro. O  $R_n$  (acumulado), para o período de observação, mostrou-se bastante coerente devido aos valores de  $R_n$ . O saldo de radiação ao penetrar a folhagem da planta, é indispensável ao desenvolvimento,

pois a energia que é disponível para a planta é sem sombra de dúvidas importantíssima para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Teixeira et al., (1997) determinaram o saldo de radiação acima ( $R_{n,s}$ ) e abaixo ( $R_{n,i}$ ) da folhagem da cultura da videira e sua correlação com índice de área foliar (IAF) em Petrolina-PE. Observaram que a relação de  $R_{n,i}/R_{n,s}$  decresce e o IAF cresce rapidamente, alternado as proposições de energia disponível ao sistema de cultivo absorvidas pelo solo e pelas plantas.

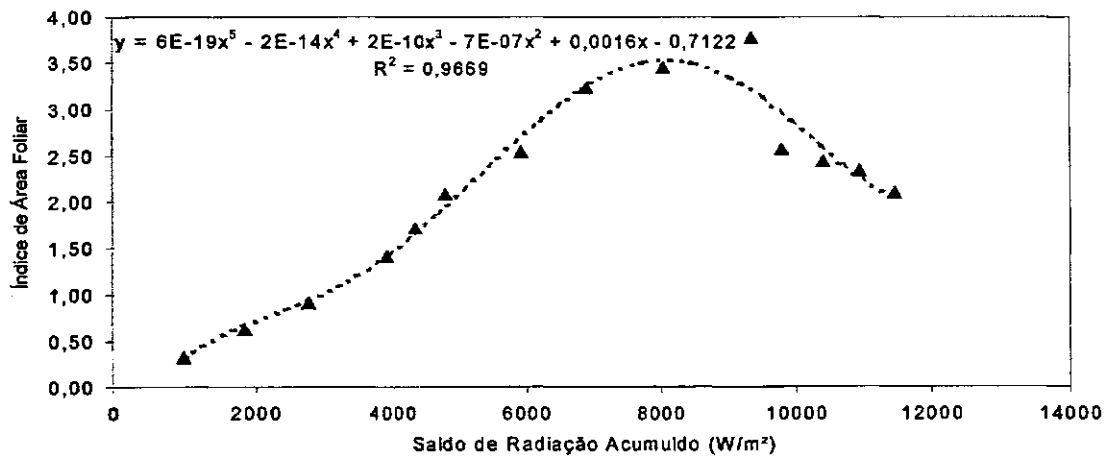
#### 4.1.12 - Relação da Fitomassa Seca com o Saldo de Radiação Acumulado

Como podemos observar na Figura 4.4.c, o desempenho da Fitomassa Seca com o  $R_n$  acumulado, ao longo de seus estádios de crescimento e desenvolvimento da cultura. A FS (Fitomassa Seca) manteve-se sempre crescente até atingir seu peso máximo que foi de 107,84, sendo que após ter atingido tal peso, a mesma sofreu uma desaceleração na sua massa, devido ao final do ciclo fenológico, também ao estresse hídrico que as plantas sofreram na fase final, que é o amadurecimento e colheita dos capulhos. Analisado-se a referida Figura, podemos notar que o gasto de energia de 2,41g até aos 20g foi acentuado, chegando a acumular aproximadamente 3100 W/m<sup>2</sup>, enquanto que para um aumento na massa de 34,62g a 71,38g, gastou-se menos energia em torno da metade gasta anteriormente para um aumento de 80-100g, podemos ver que o gasto de energia (saldo de radiação acumulado), foi de 4575,63 W/m<sup>2</sup>. A FS comparada ao ( $R_{n,a}$ ), foi bastante significativa, devido aos seus valores, enquanto que a quantidade de energia que foi destinada a FS no período de desenvolvimento da cultura foi satisfatória. Devido ao fluxo de energia solar que as plantas receberam, estas portaram-se muito bem no que se diz respeito a realização dos processos físicos, da fotossíntese e demais outros que as plantas necessitam para terem um bom crescimento e desenvolvimento ao longo de seu ciclo. As folhas que apresentam maior atividade fotossintética do complexo são as extremas, não só porque são geralmente as mais jovens, portanto, de epiderme mais preparada à produção máxima de matéria seca, como também por receber mais radiação solar direta. Devido as boas condições climáticas da região, e ao

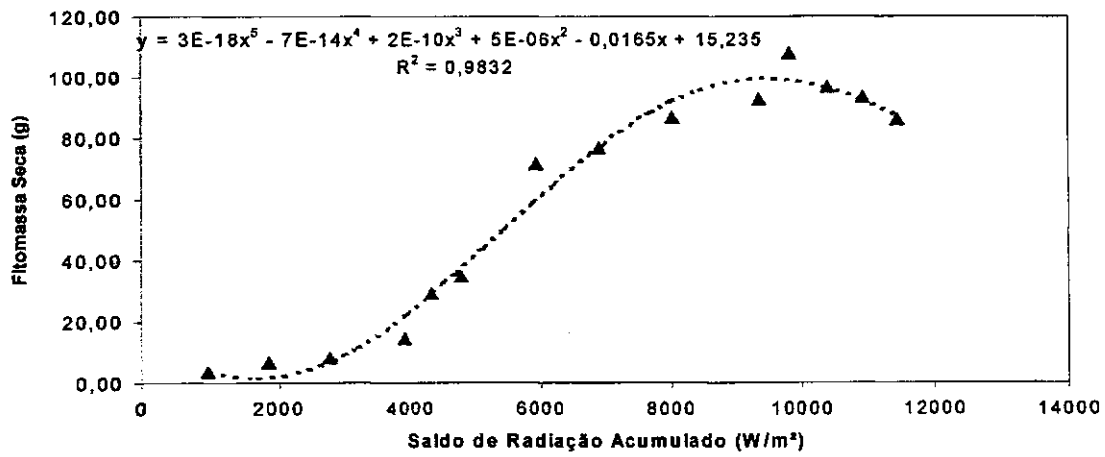
clima ser do tipo magatérnico, a distribuição de energia solar para a cultura, teve uma grande contribuição para um bom desenvolvimento da cultura ao longo dos seus estádios de crescimento. Ainda analisando-se esta Figura acima pode-se perceber que a FS em função do  $(R_n, a)$ , apresentou uma performance muito boa, para o 2º valor da FS medido que foi de 3,39g e a energia que se gastou para se obter este valor foi de 964,00 W/m<sup>2</sup>. A melhor curva de ajuste para esta relação foi a curva polinomial, onde apresentou um modelo de ajuste para o R<sup>2</sup> de 0,98, caracterizando desta maneira um ajuste de ótimas proporções. Pode-se verificar através desta mesma Figura que o aumento da FS em relação à disposição do saldo de radiação acumulado teve menor valor, pois as plantas encontravam-se com peso médio semanal de 34,61 – 71,38g, enquanto que na fase onde as plantas, já se encontravam na fase de senescência gastou-se mais energia entre os 86,40 – 107,84g, sendo que para este período foram gastos cerca de 3423,25W/m<sup>2</sup>, no aumento do peso seco das plantas.



a



b



c

**Figura 4.4** – Relação da Reflectância com dias após a semeadura, saldo de radiação com índice de área foliar, saldo de radiação com fitomassa seca.

#### 4.1.13 - Relação entre Área Foliar e Saldo de Radiação Acumulado

O comportamento da Área Foliar com o saldo de radiação acumulado ( $R_{n,a}$ ), é mostrado na Figura 4.5.a; tanto a AF e o  $R_{n,a}$  foram crescentes ao longo do ciclo da cultura, isto ocorreu devido à disponibilidade de energia solar destinada a cultura, fazendo com que ao aumento fosse de maneira satisfatória a atender seu crescimento e desenvolvimento da Área foliar do algodoeiro. Podemos observar que entre os 964,45 - 3892W/m<sup>2</sup>, a AF cresceu até aproximadamente 1500cm<sup>2</sup>, enquanto que a AF para crescer dos 2538,86 - 3777,56cm<sup>2</sup> gastou em média 3889,06W/m<sup>2</sup>, caracterizando desta maneira um acréscimo na AF, para um período de observações de três semanas, sendo este aumento na área foliar de 1238,70cm<sup>2</sup>. Ainda com base nesta Figura podemos perceber que ao final do ciclo a AF tende a desacelerar seu crescimento em função do estágio de amadurecimento e colheita dos capulhos. Nesta Figura nota-se ainda que o fenômeno físico se apresentou coerente, pois a AF tende a crescer, mas em certo estágio de seu ciclo ela tende a decrescer. O ( $R_{n,a}$ ) é sem sombra de dúvidas vital para o crescimento e o bom rendimento das culturas ao longo de seus estádios fenológicos. A melhor curva de ajuste observada para esta relação foi uma polinomial de 4º grau, onde seu R<sup>2</sup> foi igual a 0,95. A AF permite avaliar, se as condições de aproveitamento da cultura com a energia do meio, a intensidade de aproveitamento de gás carbônico do meio ambiente dentre outros.

#### 4.1.14 - Relação entre Fitomassa Seca e Radiação Global acumulada

De acordo com a Figura 4.5.b, pode-se observar o desempenho da Fitomassa Seca em função da Irradiação Solar Global acumulada. Desde o início das pesagens da FS, esta apresentou um comportamento sempre crescente, até atingir seu valor máximo que foi de 107,84g, este alto valor se deu em função do crescimento e desenvolvimento da cultura, devido ao alto índice de irradiação solar global acumulada, que foi mediada para este período de observações. A FS apresentou um grande acúmulo de massa seca ao longo de seus estádios de crescimento e desenvolvimento da planta, isto porque a quantidade de energia solar que foi destinada à cultura teve muita influência no aumento da fitomassa

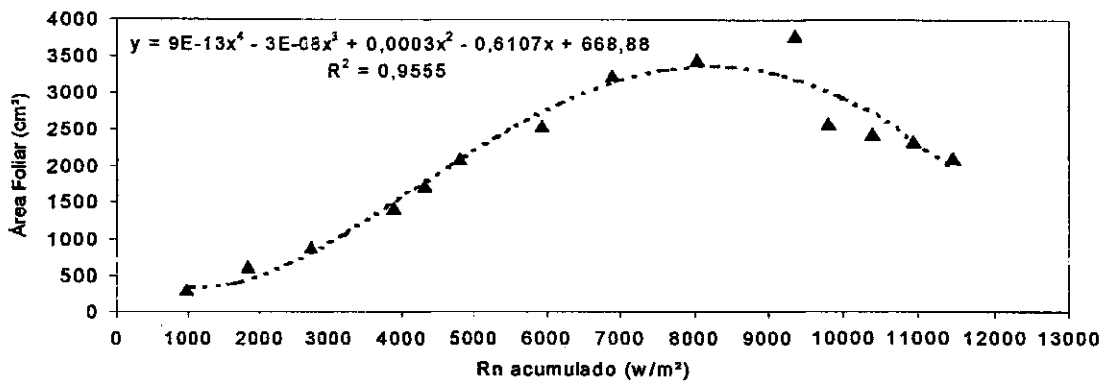
seca ao longo do tempo. De acordo com a Figura analisada, percebe-se que o aumento da FS se deu aproximadamente nos  $2200\text{W}/\text{m}^2$  de irradiação solar global acumulada, isto é, para um peso em média de  $107,84\text{g}$  por semana, nota-se ainda que houve uma desaceleração no peso seco, por causa do término das irrigações, causando deste modo uma perda excessiva de água para atmosfera, conseqüentemente reduzindo o peso das plantas, é evidente que houve um gasto acentuado de irradiação solar global acumulada, porque dos  $2,41 - 34,62\text{g}$ , houve um aumento de energia em torno de  $10.000\text{W}/\text{m}^2$ , este acúmulo foi para um período de seis semanas após a coleta dos dados de FS, enquanto que para um aumento de  $34,62 - 71,38\text{g}$ , que chegou próximo do dobro da massa da semana anterior, gastou-se menos energia, em torno de aproximadamente  $3000\text{W}/\text{m}^2$  para o período de uma semana. Observando-se a Figura 4.5.b, esta mostra após obter o peso máximo seco da planta, sendo que este tendeu a decrescer, contudo a irradiação solar global acumulada para as três últimas semanas ficou em torno de  $3000\text{W}/\text{m}^2$  em média, isto para um período semanal. As condições ideais de calor, durante as fases de desenvolvimento da cultura foram propícias para a fase de frutificação, possibilitando uma adequada formação dos frutos. A melhor curva de ajuste observada foi à curva polinomial de  $5^\circ$  grau, sendo que melhor modelo observado para o  $R^2$  foi igual a  $0,98$ , caracterizando desta forma um ótimo ajuste para esta relação.

#### 4.1.15 - Relação entre Área Foliar e Radiação Global acumulada

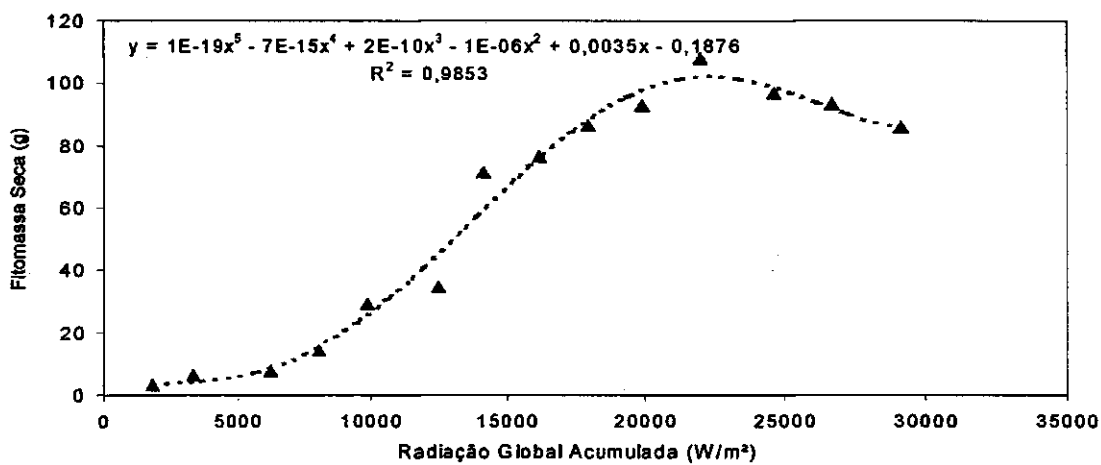
O comportamento da AF em função da Irradiação Solar Global Acumulada ( $I_g,a$ ), é mostrado na Figura 4.5.c, onde a Área Foliar, manteve-se sempre crescente ao longo do ciclo fenológico de desenvolvimento da cultura. A AF teve suas medições acompanhadas, desde os primeiros dias de coleta de dados, junto também com a ( $I_g,a$ ). Pode-se observar que o desempenho da AF em função da ( $I_g,a$ ), foi crescente ao longo da evolução do seu ciclo fenológico. Após atingir seu máximo crescimento a AF, tende a desacelerar, sendo desta maneira, ocasionando uma queda na velocidade de seu crescimento. De acordo com a Figura 4.5.c, nota-se que a AF para as 1<sup>as</sup> quatro semanas é que o aumento em média da AF, foi de  $300\text{cm}^2$ , totalizando desta forma um acúmulo de

Irradiação Solar Global da ordem de 8038, 30W/m<sup>2</sup>, isto para um período de quatro semanas. A partir dos 1500cm<sup>2</sup> de AF, os aumentos foram sucessivos até alcançar a sua Área Foliar máxima que foi de 3777,56cm<sup>2</sup>, onde a (lg,a) em função deste valor relacionado a AF foi de aproximadamente 19886,51W/m<sup>2</sup>. Como podemos ver na Figura, AF ao atingir seu máximo sofreu um decréscimo, porque depois de determinada fase do estágio fenológico a planta em evidência (como é o caso do algodoeiro herbáceo BRS-201), entra na fase de senescência. O acúmulo de (lg,a) em função da AF, para 2101,47 – 2570,97cm<sup>2</sup> ficou em torno de 2617,25W/m<sup>2</sup> por semana. A curva de ajuste, observada foi à curva polinomial de 5º grau, onde seu R<sup>2</sup> foi igual a 0,96. A (lg,a), exerce papel de extrema importância sobre a AF, pois um sistema absorve de maneira integral as energias emitidas pelo meio ambiente. As relações entre a AF e a (lg,a), dependem bastante do clima das plantas, pois isto é fator preponderante para o aumento de folhas, provocando um acréscimo de área foliar. A Irradiação Solar Global destinada a formação de folhas através das plantas é indispensável aos processos fotossintéticos que ocorrem no interior das mesmas e é de suma importância para a vida vegetal.

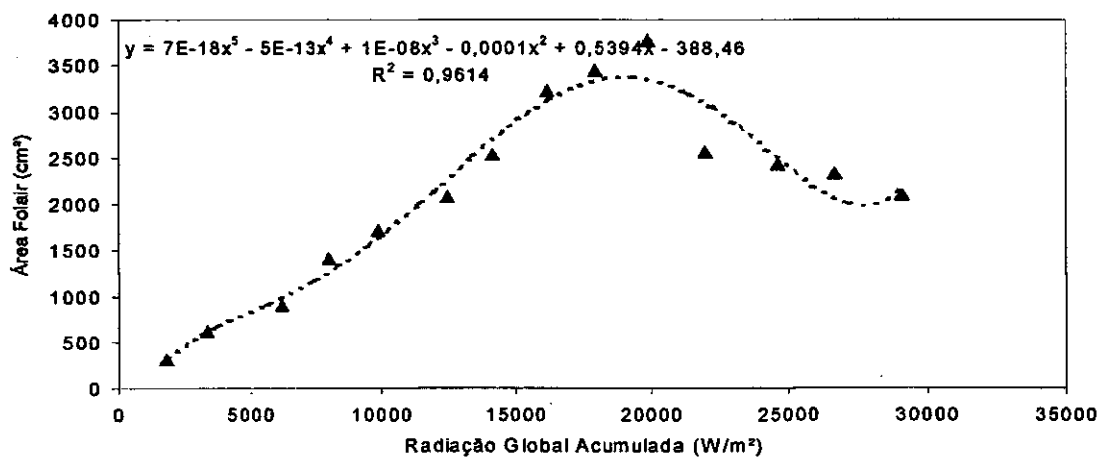




a



b



c

**Figura 4.5** – Relação da área foliar com o saldo de radiação acumulado, fitomassa seca com a radiação global acumulada, área foliar com a radiação global acumulada.

#### 4.1.16 - Relação entre Fitomassa Seca e Balanço de Onda Longa Semanal

A Figura 4.6.a apresenta a relação entre a Fitomassa Seca e o balanço de ondas longas cujo coeficiente de determinação foi aproximadamente 0,63, o que significa, que em quase 88% dos casos estes elementos se correlacionaram através da equação exponencial  $FS = 127,27 \exp(0.0477BOL)$ , sendo esta equação que melhor se ajustou aos dados coletados. Também pode-se verificar que o ajuste foi melhor no início do crescimento e desenvolvimento da cultura ( $FS \leq 20g$ ) e na fase final vegetativa ( $FS \geq 80g$ ).

Ainda nesta Figura, percebe-se que até as plantas atingirem fitomassa seca correspondente a 34,61g existiu uma variação da ordem de 45w/m<sup>2</sup> no balanço de ondas longas; quando as plantas encontraram-se com a fitomassa seca entre 34,61 e 107,84g, a variação no balanço de ondas longas foi de 23w/m<sup>2</sup>, e finalmente quando a fitomassa seca foi superior a 100g, esta variação foi de apenas 5w/m<sup>2</sup>, mostrando desta forma que a influência da superfície não vegetada é bem maior no início do ciclo vegetativo, e quase não tem influencia no final do ciclo, quando o solo está totalmente coberto pela cultura.

#### 4.1.17 - Relação entre Fitomassa Seca e Balanço de Onda Longa Acumulado

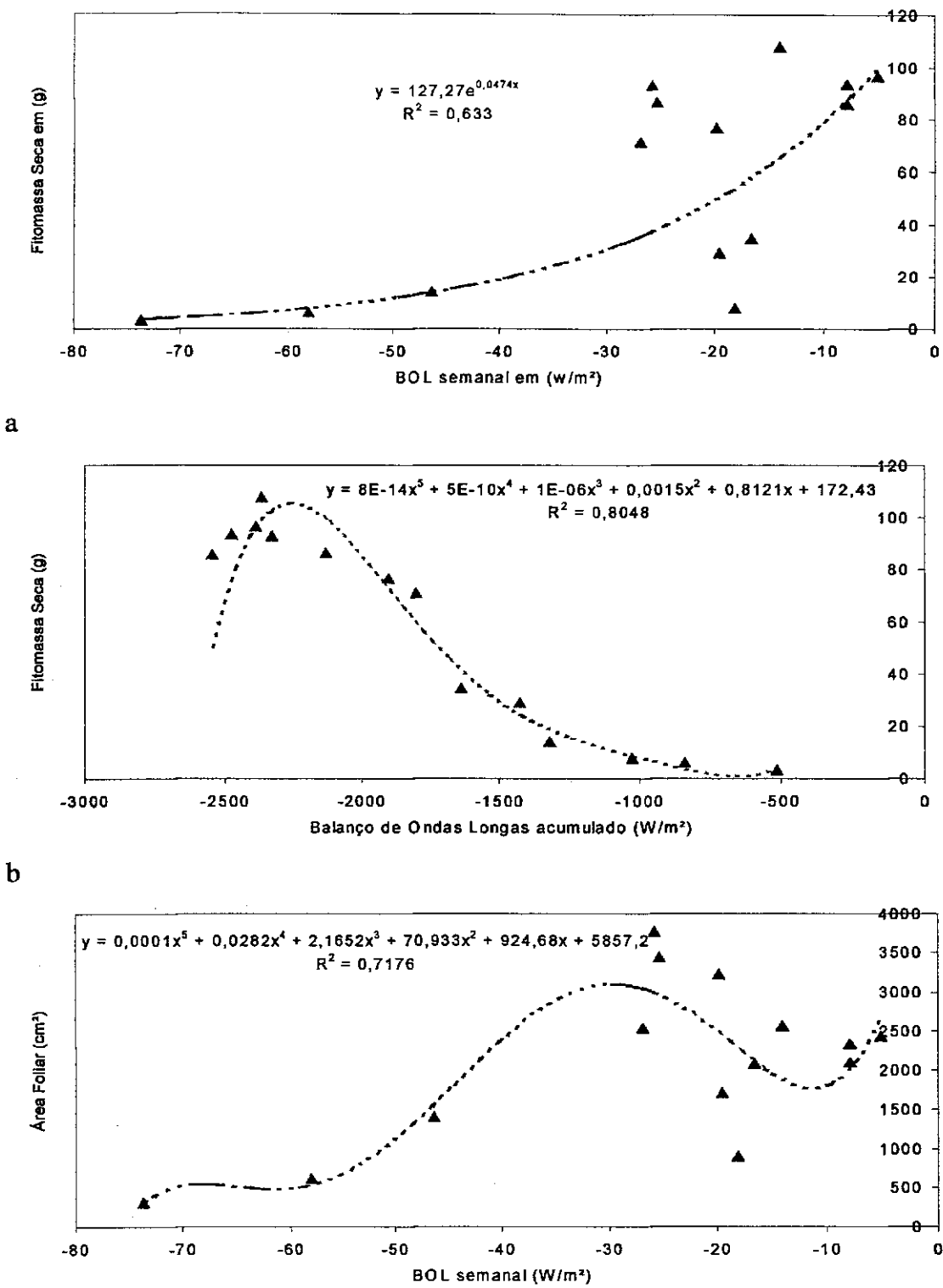
Na Figura 4.6.b, verifica-se a relação da fitomassa seca com o balanço de ondas longas acumulado, cujo coeficiente de determinação foi bastante satisfatório ( $R^2 = 0,80$ ), e cuja função ajustada foi a linear da forma  $FS=8E-14BOL^5+ 5E-10BOL^4+ 1E-06BOL^3+ 0,0015BOL^2+ 0,8121BOL+ 172,43$ . Pode-se verificar através da mesma Figura que até as plantas atingirem a fitomassa seca correspondente a 34,61g houve acúmulo maior (1638,74w/m<sup>2</sup>), revelando maior perda de energia (principalmente pelo solo) em ondas longas; também na fase final do seu crescimento e desenvolvimento (60-107g) a perda de energia em ondas longas foi grande (731w/m<sup>2</sup>), quando comparada com as fases intermediárias, de 20-40g, onde a perda foi de 209,34w/m<sup>2</sup>, justamente em função dos dias. Nesta época apresentarem-se nublados e chuvosos, o que de certa

maneira foram muito favoráveis ao desempenho da cultura, e de 40-80g, que correspondeu a uma perda de energética da ordem de 491,11w/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.18 - Relação da Área Foliar com o Balanço de Onda Longa Semanal

De acordo com a Figura 4.6.c, pode-se verificar a correlação da Área Foliar (AF) com o BOL (semanal), onde o coeficiente de determinação encontrado, R<sup>2</sup> foi igual 0,71, e cuja melhor função que se ajustou foi a polinomial da forma  $AF=0,0001BOL^5 + 0,0282BOL^4 + 2,165BOL^3 + 70,933BOL^2 + 924,68BOL + 5857,2$ . Pode-se notar que o aumento da AF em função do balanço de ondas longas semanal foi satisfatório para este período. O crescimento da AF foi acompanhado semanalmente e a quantidade de energia destinada ao seu desenvolvimento também se deu em função ao BOL (semanal), no se diz respeito a evolução do crescimento da área foliar das plantas.

Ainda analisando-se esta Figura, observou-se que para um crescimento de 22,44cm<sup>2</sup>, houve um aumento de 15,59w/m<sup>2</sup> para a primeira semana de observações. Para o final do ciclo de desenvolvimento da cultura notou-se que a variação do balanço de ondas longas foi bem menor em relação ao início da coleta dos dados, sendo que suas variações foram muito próximas umas das outras. Devido a AF ter apresentado valores satisfatórios ao longo do ciclo condicionados ao BOL (semanal), este teve um importante papel no desenvolvimento foliar e na cobertura do solo.



**Figura-4.6** – Relação da fitomassa seca com o balanço de ondas longas semanal, correlação da fitomassa seca com o balanço de ondas longas acumulado e a área foliar com o balanço de ondas longas semanal.

#### 4.1.19 - Relação entre Área Foliar e Balanço de Onda Longa Acumulado

A Figura 4.7.a apresenta a correlação entre a AF e o Balanço de Ondas Longas (acumulado), cujo coeficiente de determinação foi de 0,85, o que implica dizer que, estes elementos se correlacionaram através da equação polinomial da forma  $AF=2E-12BOC^5 + 9E-09BOC^4 + 2E-05BOC^3 + 0,0218BOC^2 + 2063,2$ , sendo esta equação foi a que melhor se ajustou aos dados coletados ao longo do período das observações realizadas. A AF apresentou-se de maneira satisfatória em relação ao BOL (acumulado), onde o BOL acumulou até suas últimas medições um valor de  $-2543,5w/m^2$ , podendo-se perceber uma queda da Área Foliar neste período que ficou na faixa de  $-2475,7w/m^2$  e  $-2543,5w/m^2$ , isto ocorreu no período final das observações (fase de colheita). Também se observou que a AF cresceu  $508,50cm^2$  em função do BOL (acumulado), ficando entre  $-1028,2w/m^2$  e  $-1429,4w/m^2$  e na fase final de desenvolvimento da planta a AF cresceu em torno de  $694,41cm^2$ , para uma faixa de energia disponibilizada que ficou entre  $-1801,64w/m^2$  e  $1901,52w/m^2$ .

Observando-se ainda a mesma Figura pode-se notar que a variação da AF em função do BOL (acumulado), foi mais acentuada, a mediada que a área foliar aumentava, isto é, devido a uma maior cobertura do solo pelas folhas das plantas. A AF apresentou um aumento na sua área de  $22,44cm^2$  para a primeira semana de coleta de dados. Devido à disponibilidade de água destinada a cultura, a mesma também teve fatores de grande importância vinculados direto ao seu crescimento e desenvolvimento, que são os processos físicos de troca de calor, luz e energia vitais ao seu bom desenvolvimento ao longo de seu ciclo vegetativo. O BOL (acumulado) apresentou uma correlação satisfatória, mostrando desta forma valores condicionados as relações água-solo-planta-atmosfera.

#### 4.1.20 - Relação entre Fitomassa Seca e Balanço de Onda Curta Acumulado

Na Figura 4.7.b, encontra-se a correlação da fitomassa seca com o balanço de ondas curtas acumulado, cujo coeficiente de determinação foi altíssimo (0,98), revelando excelente correlação entre estes elementos. Na mesma Figura, pode-se perceber que o maior crescimento da FS correlacionado com o balanço de ondas curtas acumulado, ocorreu no período de crescimento e desenvolvimento das plantas correspondente a FS de 80 a 107,84g, onde as mesmas estiveram a sua disposição aproximadamente  $1300w/m^2$ , o que significa dizer que houve um crescimento de 1g para cada  $26w/m^2$ .

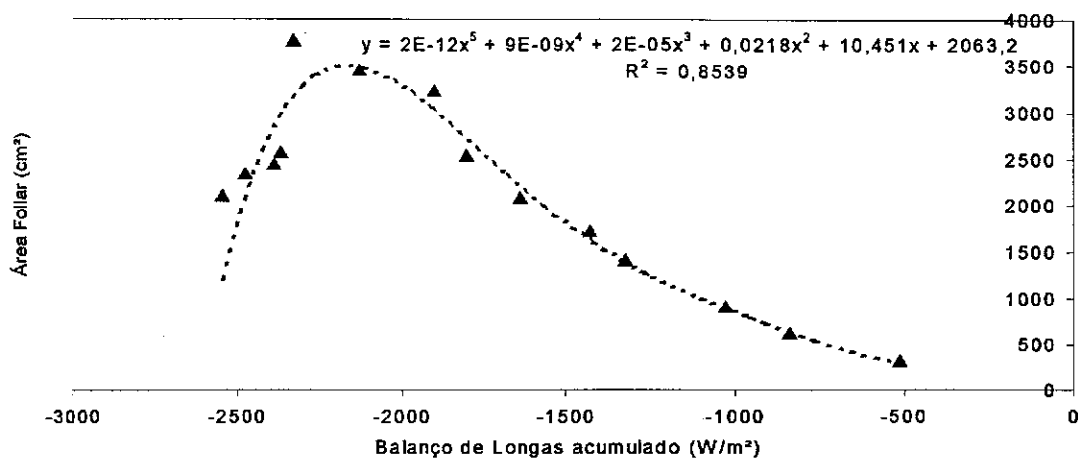
Quando as plantas encontraram-se até atingir fitomassa seca de 150g, o crescimento das mesmas, foram em média, de 1g para  $50w/m^2$ . Isto mostra que na fase final do seu crescimento o algodão, em termos da disponibilidade energética do meio ambiente, o qual o mesmo está inserido, apresenta exigência menor, o que muitas vezes poderá estar associado a reservas já adquiridas e apresentar exigências de outros elementos incapazes de serem analisados nesta Figura.

#### 4.1.21 - Relação entre Área Foliar e Balanço Onda de Curta Acumulado

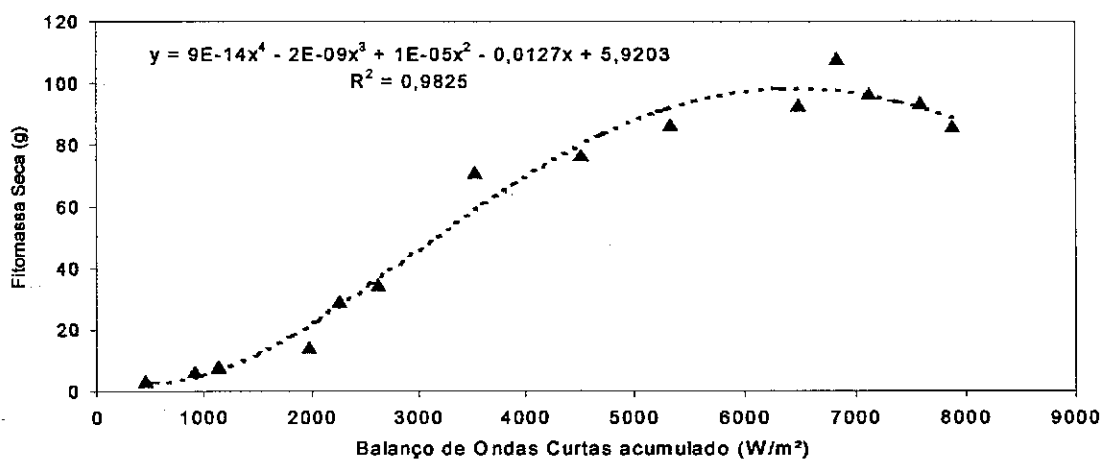
Na Figura 4.7.c está a correlação entre a área foliar e o balanço de ondas curtas acumulado. Por intermédio desta Figura, constata-se que a área foliar correlacionou-se muito bem ( $R^2 \cong 0,96$ ) com o balanço de ondas curtas acumulado através da função polinomial de segundo grau. Ainda constata-se através desta equação uma taxa de crescimento e desenvolvimento de  $68,4cm^2$  de área foliar para cada  $100w/m^2$  acumulado no balanço de ondas curtas.

Por outro lado, também se verifica na mesma Figura que o crescimento e desenvolvimento da área foliar foi maior na primeira fase, onde as plantas tiveram um aumento de  $508,50cm^2$  para um acúmulo no balanço de ondas curtas de  $1970,74w/m^2$ , enquanto que a partir daí até as mesmas atingirem um aumento semanal  $694,34$  de o acúmulo no BOC foi de aproximadamente  $982,01w/m^2$ , e finalmente um crescimento absoluto até atingir  $3777,56 cm^2$ , tendo acumulado

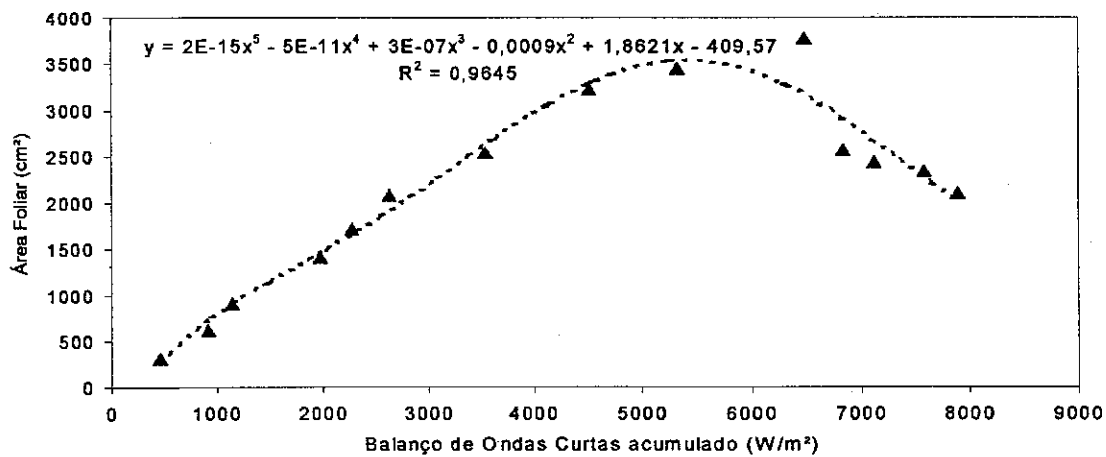
apenas 1148,12w/m<sup>2</sup>, em seguida as mesmas entraram no estágio de senescência, o que implica em queda das folhas, e conseqüentemente diminuição da área foliar, como é de esperar, independente da cultura.



a



b



c

**Figura - 4.7** – Relação da área foliar com o balanço de ondas longas acumulado, fitomassa seca com o balanço de ondas curtas acumulado, área foliar com o balanço de ondas curtas acumulado.



## 4.2 – Análise do Balanço de Radiação

Na Tabela 4.1 estão reunidos os dados médios diários, para cada estágio fenológico da cultura estudada, em  $\text{MJ.m}^{-2}$ , do saldo de radiação ( $R_n$ ), da radiação solar global ( $R_g$ ), da radiação solar refletida pela cultura ( $R_r$ ), da radiação de ondas longas emitida pela atmosfera para baixo ( $R_{ol,atm}$ ) e emitida pela cultura ( $R_{ol,emi}$ ), além da razão entre  $R_n$  e  $R_g$ , albedo e razão entre  $R_{ol,atm}$  e  $R_{ol,emi}$ . Todas as unidades das variáveis radiativas se encontram em  $\text{MJ.m}^{-2}$ .

Observa-se que  $R_n$  aumentou virtualmente do I ao V estágio, e alcançou valor máximo no IV estágio, com  $14,34 \text{ MJ.m}^{-2}$ , reduzindo um pouco seu valor no quinto e último estágio. Considerando-se que os valores médios da  $R_g$  não acompanharam tal comportamento, pode-se justificá-lo em função do aumento expressivo registrado na radiação refletida,  $R_r$ , bem como no saldo da radiação de ondas longas. Note-se que a radiação de onda longa da atmosfera aumentou claramente do início ao final do ciclo da cultura, chegando a registrar  $37,28 \text{ MJ.m}^{-2}$  no V estágio fenológico. Já a  $R_{ol,emi}$  alcançou seu valor máximo logo no início do ciclo da cultura, onde registrou-se um máximo de  $40,38 \text{ MJ.m}^{-2}$  e caiu gradativamente até o IV estágio, com valor médio de  $38,83 \text{ MJ.m}^{-2}$ , e teve ligeiro aumento no quinto e último estágio, com  $39,56 \text{ MJ.m}^{-2}$ , certamente que resultante da suspensão das irrigações e senescência.

A radiação solar global apresentou valores relativamente estáveis, com máximo no quarto estágio e mínimo no primeiro. Os valores obtidos situaram-se na faixa de 20 a  $22 \text{ MJ.m}^{-2}$ . Por sua vez, a radiação refletida apresentou variação relativa bem mais acentuada, e comportamento muito definido: aumento regular do início ao final do ciclo. Esses resultados foram corroborados pelos correspondentes valores do albedo, que variou de 0,14, no I estágio, a 0,22, onde alcançou o seu valor máximo (IV estágio) e foi um pouco reduzido no V estágio, com a senescência e diminuição da área foliar. É importante observar que o valor do albedo no último estágio, considerado alto em comparação aos três estágios iniciais, pode ser explicado quando se analisam os seus componentes do visível e infravermelho próximo. Certamente que no visível houve um aumento do albedo, sobremaneira como resultado da abertura dos capulhos. Já no infravermelho próximo deve ter sido registrado uma diminuição do albedo, já que há redução da área foliar e turgescência das folhas.

Há que se considerar ainda que os valores constantes na Tabela 4.1 representam médias dos valores integrados dos mencionados componentes, ao longo do dia, e que cada estágio tem duração, em número de dias, muito diferente. Ademais, os máximos que ocorreram em cada estágio mostram que  $R_n$  e  $R_g$  seguem visivelmente as alterações sazonais das variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar, radiação solar global, fotoperíodo etc. Dessa forma, não ficou evidenciado, para o caso de  $R_g$  e valores da Tabela 4.1, o seu aumento estacional.

Outro resultado importante refere-se aos da radiação de onda longa. Observa-se que a razão entre a  $O_{Latm}$  e  $O_{Lemi}$  é bastante elevada, em geral superior a 83%, chegando a 0,94 no estágio compreendido entre o surgimento do primeiro capulho e colheita. Embora não tenha ocorrido uma grande variação na radiação emitida pela cultura, a radiação atmosférica é que determinou o comportamento da referida razão e está em absoluta concordância com o aumento sazonal da temperatura do ar.

Destaca-se, ainda, as magnitudes da radiação de onda longa: mínimo de  $32,79 \text{ MJ.m}^{-2}$  ( $O_{Latm}$ ) e máximo de  $40,38 \text{ MJ.m}^{-2}$ , caso da radiação emitida pela cultura. Ou seja, essa componente é da ordem de 200 % de  $R_n$ , mas tem uma característica que as diferencia substancialmente dos demais componentes do balanço de radiação: são pouco variáveis ao longo do dia e quase que se anulam, vez que a  $O_{Lemi}$  e  $O_{Latm}$ , embora muito elevadas, são da mesma ordem.

**Tabela 4.1** – Variação estacional dos valores diários do saldo de radiação –  $R_n$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação solar global –  $R_g$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação solar refletida –  $R_r$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), radiação de onda longa emitida pela atmosfera -  $R_{ol,atm}$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) e pelo sistema solo-planta -  $R_{ol,emi}$  ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ), razão entre  $R_n$  e  $R_g$ , albedo e razão entre  $R_{ol,atm}$  e  $R_{ol,emi}$ , em cultivo de algodoeiro herbáceo irrigado em Barbalha-CE, no ano de 2001.

Estádio	$R_n$	$R_g$	$R_r$	$O_{Lemi}$	$O_{Latm}$	$R_n/R_g$	Albedo	$O_{Latm}/em_{it}$
I	11.42	20.45	2.88	38,99	32,78	0.57	0.14	0.84
II	12.42	22.31	3.38	40,38	33,56	0.54	0.15	0.83
III	12.11	21.88	3.77	39,55	33,54	0.56	0.17	0.85
IV	14.38	21.87	4.78	38.83	36.08	0.66	0.22	0.93
V	14.24	20.64	4.17	39.56	37.28	0.69	0.20	0.94

Para os cinco estádios fenológicos da cultura, foram analisadas as variações médias diurnas dos componentes do balanço de radiação sobre a copa do algodoeiro. Para esta análise foram selecionados dias com nebulosidade e dias de céu-claro, de acordo com a divisão dos referidos estádios. Tais resultados se encontram representados nas Figuras 4.8 a 4.12, em  $R_n$  representa o saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ),  $R_g$  a radiação solar global ( $W.m^{-2}$ ),  $R_r$  a radiação solar refletida pela cultura ( $W.m^{-2}$ ),  $O_{atm}$  e  $O_{lemi}$  a radiação de onda longa emitida pela atmosfera (na direção da cultura) e pela cultura, respectivamente ( $W.m^{-2}$ ).

Na Figura 4.8a, referente ao dia Juliano DJ = 228 (16/08/2001), observou-se uma grande influência de nebulosidade durante todo o período diurno, notadamente na parte da manhã. A radiação solar global registrou um máximo, que foi igual a  $800 \text{ w/m}^2$ , por volta das 13h00. A radiação refletida ( $R_r$ ) alcançou seu máximo na parte da tarde, com valor da ordem de  $100 \text{ W.m}^{-2}$ . O saldo de radiação seguiu o mesmo comportamento de  $R_g$  e ultrapassou a casa dos  $600 \text{ W.m}^{-2}$ . Para a radiação de onda longa emitida pela cultura ( $O_{lemi}$ ) observa-se que seus valores situaram-se em torno de  $400 \text{ W.m}^{-2}$  a  $500 \text{ W.m}^{-2}$ . Já a radiação de onda longa emitida pela atmosfera variou de  $380$  a  $400 \text{ W.m}^{-2}$  e, a exemplo da  $O_{lemi}$ , seguiu o curso diário da temperatura do ar, que tem seu máximo em torno das 14h00 – 15h00.

Para o DJ = 229, representado na Figura 4.8b (17/08/2001), característico de um dia com grande insolação, a  $R_g$  passou dos  $900 \text{ W.m}^{-2}$  e  $R_n$  os  $800 \text{ W.m}^{-2}$ , valores muito expressivos. A radiação refletida alcançou cerca de  $150 \text{ W.m}^{-2}$ , virtualmente superior aos valores alcançados no dia anterior. Os componentes de onda longa chegaram a registrar mais de  $500 \text{ W.m}^{-2}$ , caso da  $O_{lemi}$ , enquanto que a atmosfera emitiu até  $400 \text{ W.m}^{-2}$ . Como observado na seção anterior, os valores da média da radiação de onda longas são muitos elevados, mas como são quase da mesma ordem, não chegam a contribuir significativamente com o saldo de radiação diário. No dia DJ = 230, também com grande intensidade radiativa, os padrões obtidos, tanto da radiação de onda curta, quanto de onda longa foram similares aos obtidos no dia anterior.

Os componentes do balanço de radiação de ondas longas apresentaram uma grande diferença em relação ao comportamento do balanço de onda curta, para dias com e sem nebulosidade: a amplitude de variação da OL e

muito inferior à da onda curta, que é regida pelo comportamento da radiação solar.

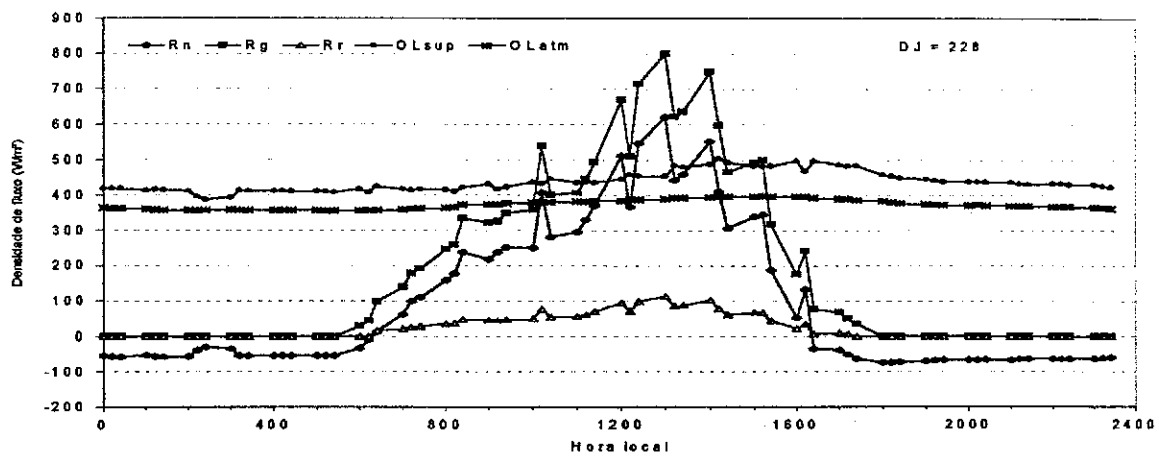
Para o II Estádio, que teve seu início no DJ = 235, observa-se o mesmo padrão verificado no Estádio I, conforme se verifica na Figura 4.9a – 4.9c. Fica evidente que a  $R_g$  supera a casa dos  $900 \text{ W.m}^{-2}$ , e  $R_n$  a dos  $600 \text{ W.m}^{-2}$ . Ou seja, há uma grande oferta de energia radiativa que geralmente é usada no aquecimento do solo, do ar e na evapotranspiração da cultura. A radiação refletida já chega a apresenta valores maiores do verificado no Estádio anterior, o que pode ser explicado pelo aumento da área foliar e o conseqüente aumento da reflexão no infravermelho próximo. número de folhas.

No III Estádio, representado pelas Figuras 4.10a – 4.10b, são observados padrões semelhantes aos dos estádios anteriores, salvo no que diz respeito à intensidade dos componentes. A  $R_g$  já chega a superar  $1000 \text{ W.m}^{-2}$ , e é uma conseqüência da sazonalidade dessa variável. Por sua vez,  $R_r$  se aproxima da casa dos  $200 \text{ W.m}^{-2}$ , e tem aumentado suave e regularmente com o crescimento da cultura. Destaque-se a simetria que apresentam  $R_g$  e  $R_r$ , que alcançam máximo em torno do meio-dia solar verdadeiro (11h30 tempo legal). Os componentes de onda longa já mostram uma redução entre os valores que separam as curvas de  $O_{Lemi}$  e  $O_{Latm}$ , mas os seus valores são elevados e oscilam muito pouco ao longo do dia. A curva da  $O_{Lemi}$ , mostra clara influência da temperatura do solo (Figura 4.10c) com máximo em torno das 15h00.

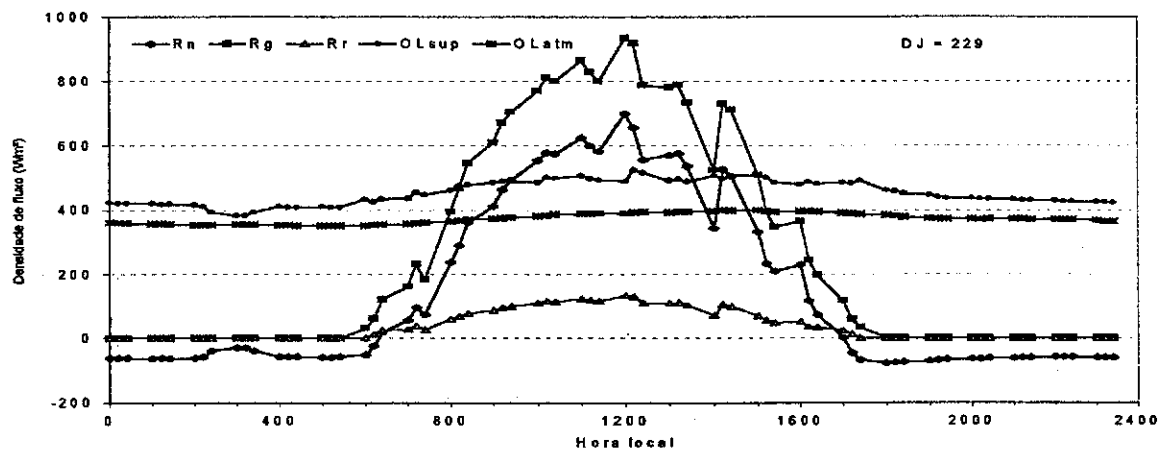
No Estádio IV, constante das Figuras 4.11a – 4.11b, são verificados padrões e intensidades similares aos do estádio anterior, salvo quanto aos valores da  $R_r$ , que já superaram a casa dos  $200 \text{ W.m}^{-2}$ . Conforme verificado na Tabela 4.1, foi neste estádio que se registro o valor máximo do albedo, que correspondeu aos maiores valores da fitomassa e área foliar. Outra característica importante, mais visível nas Figuras 4.11b e 4.11c, diz respeito à diferença entre os valores apresentados por  $O_{Latm}$  e  $O_{Lemi}$ : suas diferenças vêm diminuindo gradativamente e permanecem assim até alguns dias antes da colheita. Esse comportamento resulta em saldo de onda longa, em 24 horas, próximo de zero. Quem mais contribuiu para tal diminuição foi a  $O_{Latm}$  que, não obstante ter sido registrado uma diminuição do  $O_{Lemi}$  entre o II e IV estádios, seguiu mais regularmente o aumento da temperatura do ar.

No V Estádio, representado pelas Figuras 4.12a – 4.1c, observa-se um virtual aumento da radiação solar global, que produz um aumento proporcional no saldo de radiação. A  $R_g$  chega a registrar valores maiores que  $1100 \text{ W.m}^{-2}$  (Figura 4.12a) e a  $R_r$  também apresenta valores da ordem dos  $200 \text{ W.m}^{-2}$ . Mais uma vez observa-se que a radiação de onda longa apresenta saldo quase nulo, isto é: suas duas curvas estão muito próximas, não obstante os altos valores apresentados. No dia DJ = 341 fica mais evidente o aumento de variabilidade diurna que ocorreu na OLatm, que por cerca de 10 hs ultrapassou os valores da OLemi.

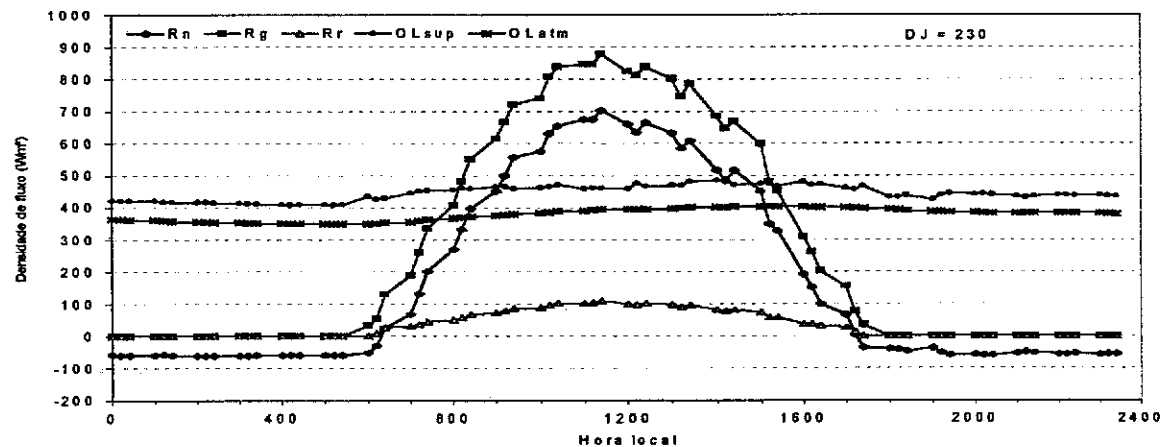
Os resultados aqui apresentados estão de acordo com outros estudos, tais como Azevedo et al. (1990), Silva et al. (1994), Silva et al. (2002), Lopes et al. (2001), Silva et al. (2001).



(a) Estádio I

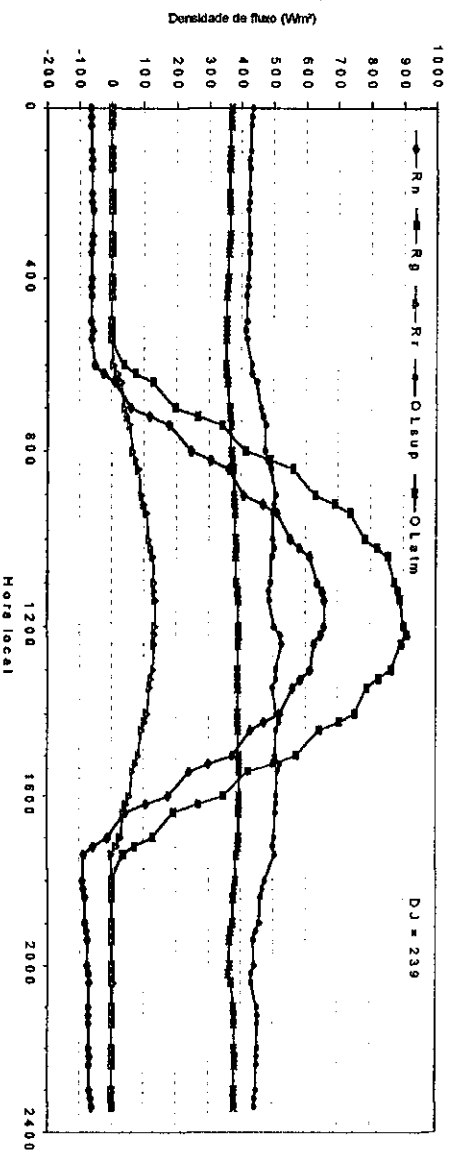


(b) Estádio I

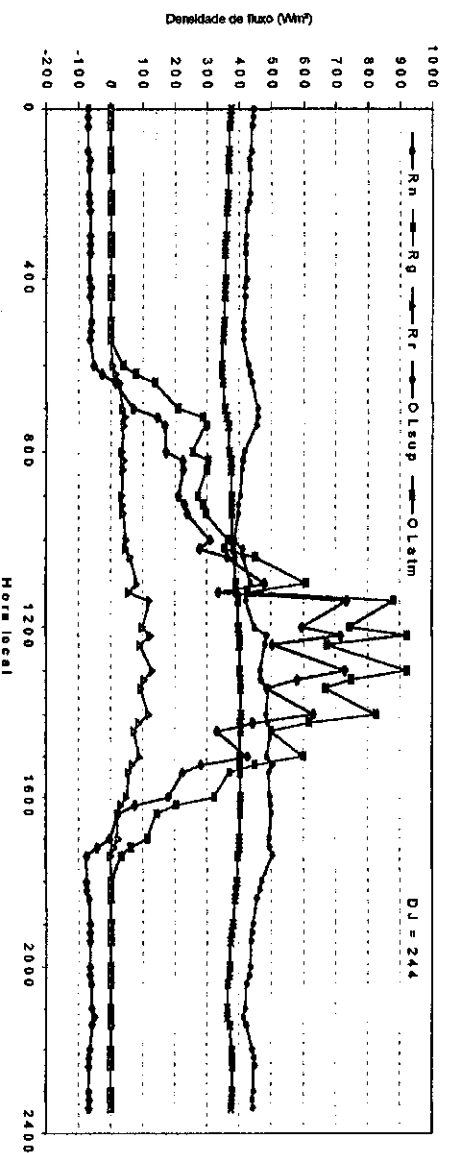


(c) Estádio I

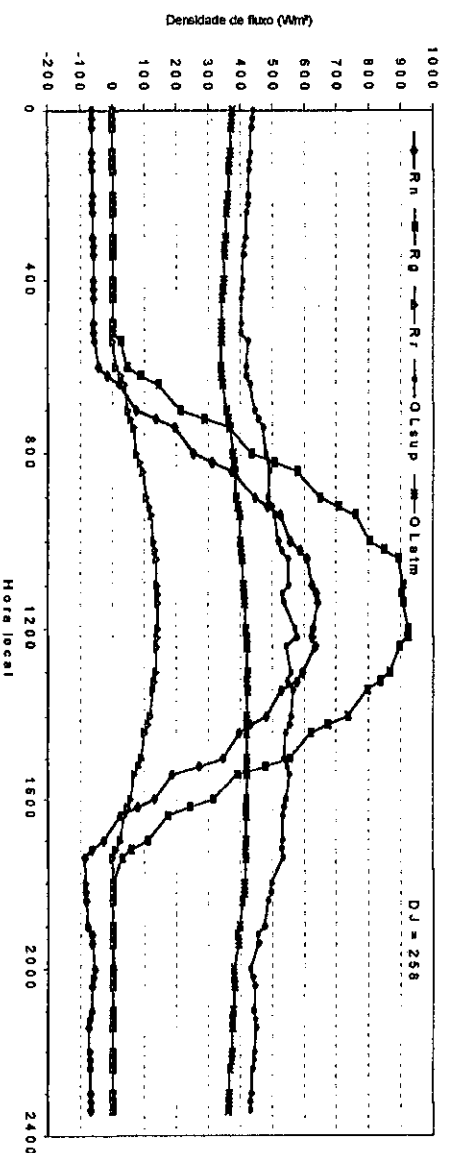
**Figura 4.8 –** Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.



(a) Estádio II

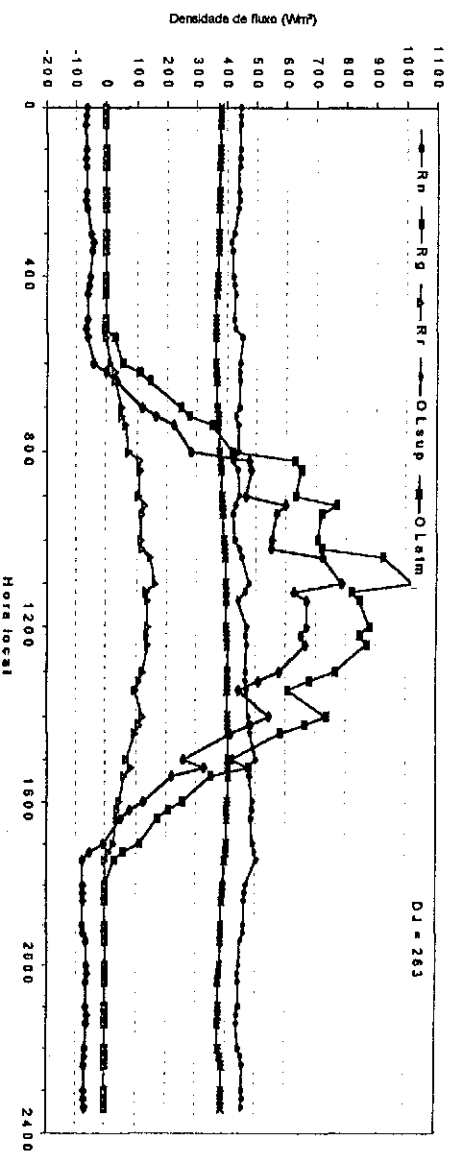


(b) Estádio II

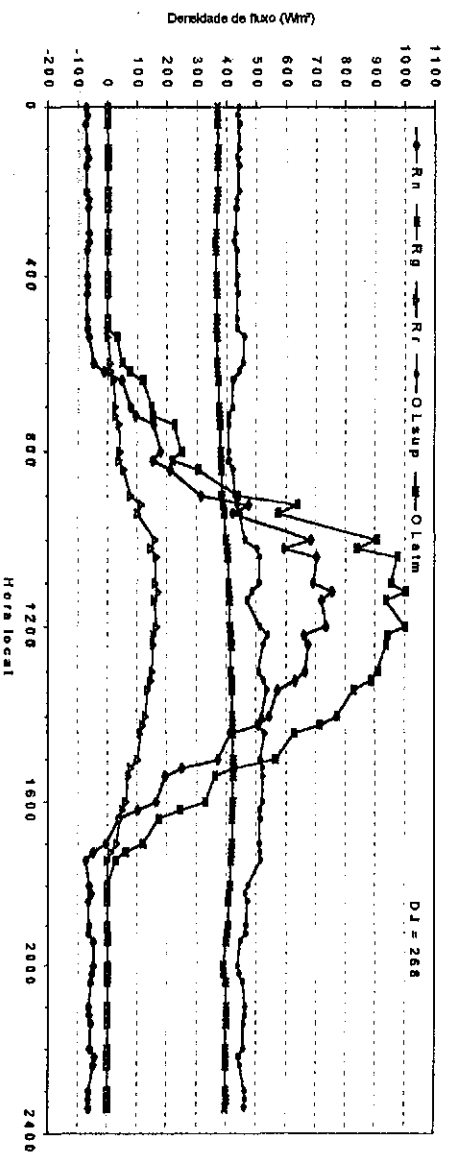


(c) Estádio II

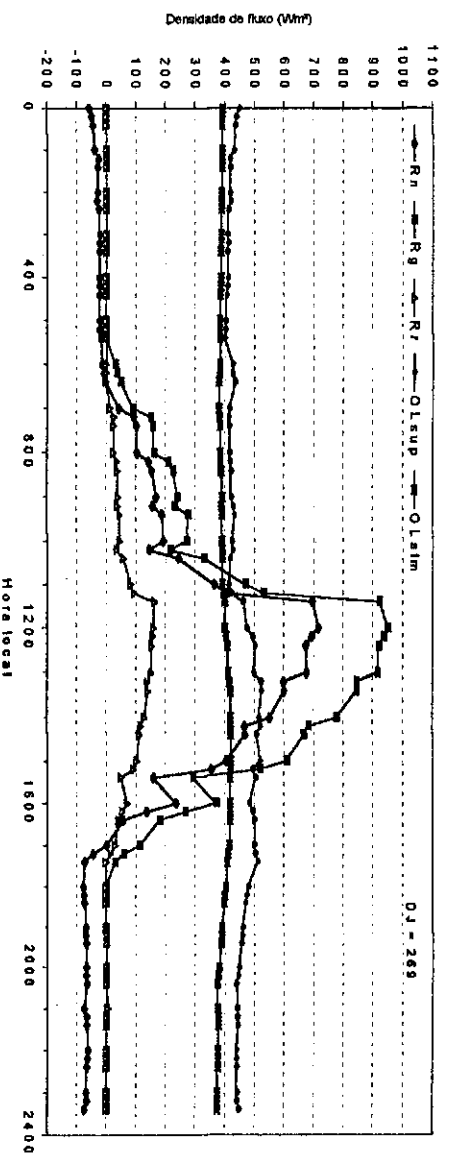
Figura 4.9 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.



(a) Estádio III



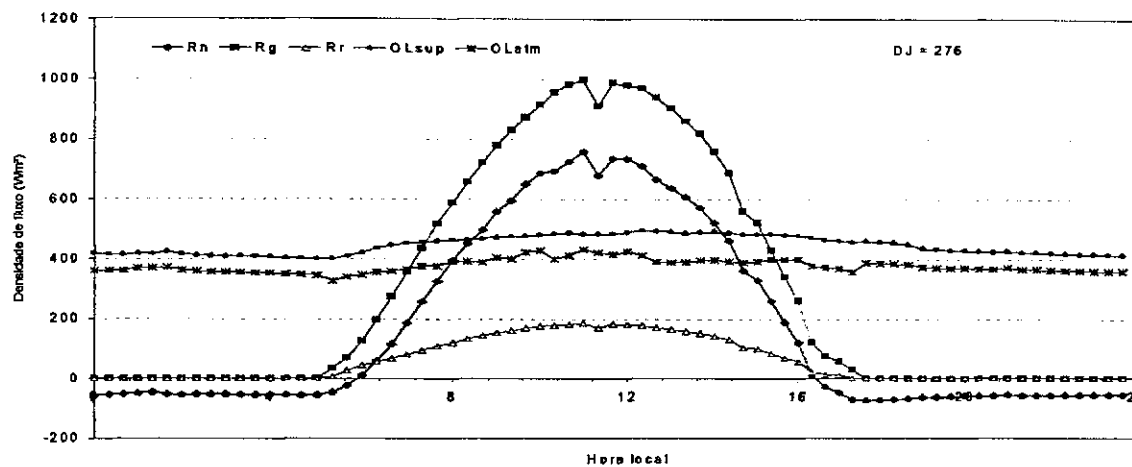
(b) Estádio III



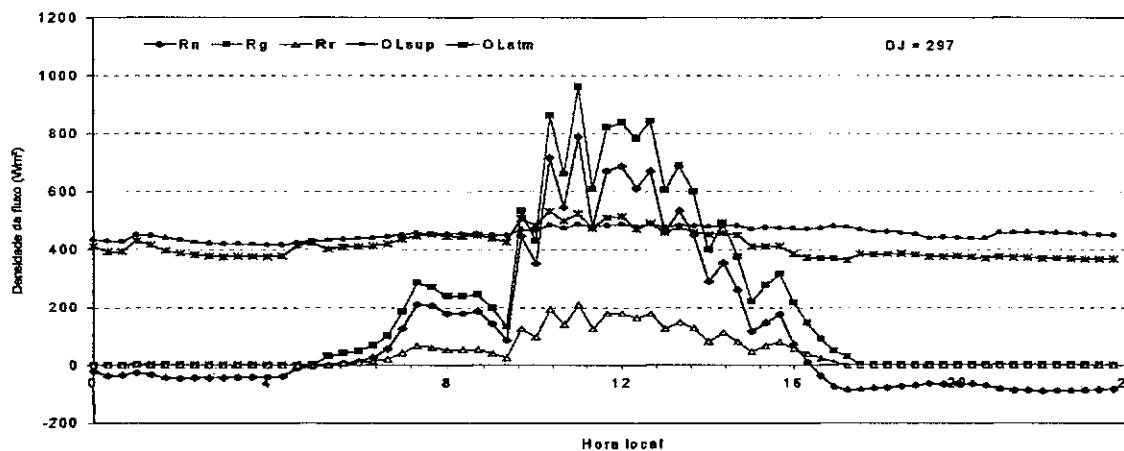
(c) Estádio III

Figura 4.10 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.

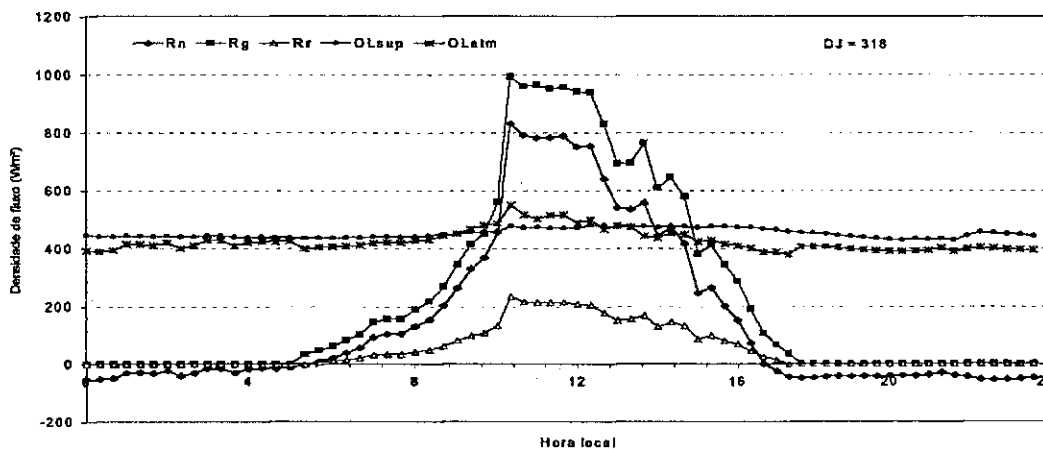




(a) Estádio IV



(b) Estádio IV

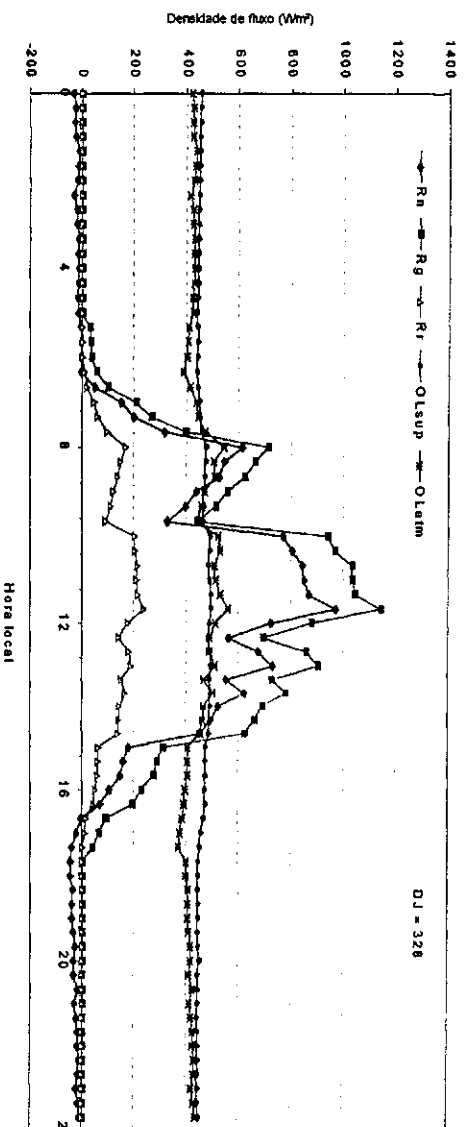


(c) Estádio IV

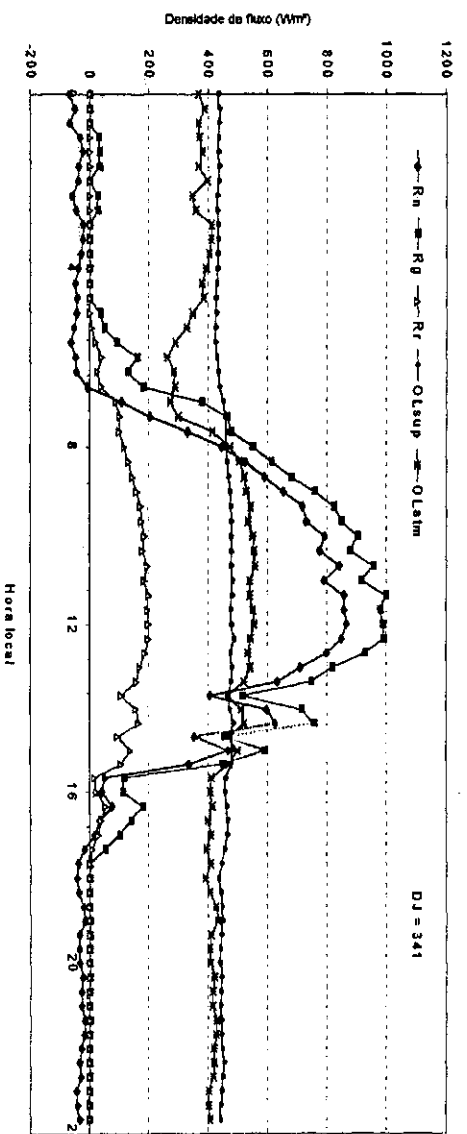
**Figura 4.11 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.**



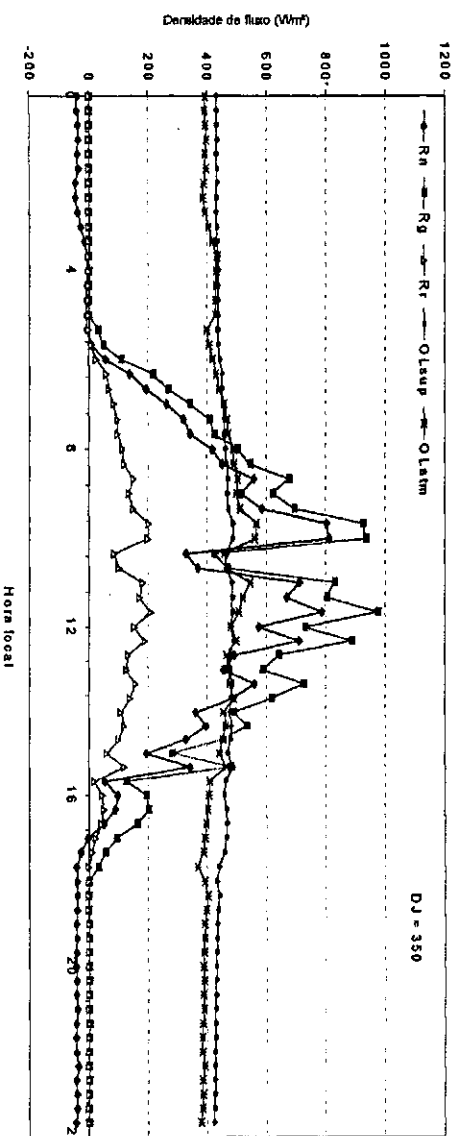
(a) Estádio V



(a) Estádio V



(b) Estádio V



(c) Estádio V

Figura 4.12 – Comportamento diário dos componentes do balanço de radiação em cultivo de algodão cv. BRS-2001 irrigado, em Barbalha, CE, no ano de 2001.

### 4.3 – Relação entre o saldo e a radiação solar global

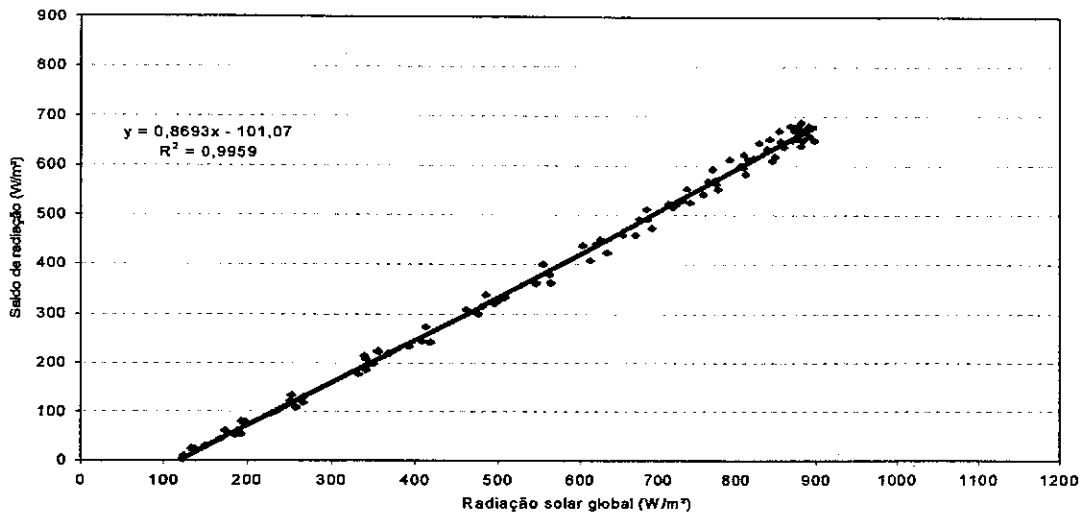
Nas Figuras 4.13 (a-c) e 4.14 (a-b) são apresentadas relações entre a irradiação solar global -  $R_g$  e o saldo de radiação -  $R_n$ , com base em valores médios obtidos a cada 20 minutos, da densidade de fluxo ( $W.m^{-2}$ ), cobrindo os cinco estádios fenológicos do algodoeiro herbáceo BRS-201, nas condições edafo-climáticas irrigadas de Barbalha. Essas equações são de grande importância quando se pretende estimar a densidade de fluxo instantânea, seja de  $R_n$  seja de  $R_g$ .

Como fica evidenciado nas mencionadas Figuras, existe uma relação linear muito acentuada entre os valores instantâneos médios de  $R_g$  e  $R_n$ . No Estádio I, a equação de regressão de  $R_n$  em função de  $R_g$  apresentou coeficiente de determinação  $R^2$ , igual a 0,9959, muito significativo segundo os testes de Student e Fischer (Meyer, 1980). Nos demais estádios também ocorreram uma forte relação linear entre  $R_n$  e  $R_s$ , conforme evidenciado graficamente e segundo os valores de  $R^2$  obtidos em cada caso. As equações de regressão se encontram representadas, com seus coeficientes de determinação, na Tabela 4.2. Como se observa, os ajustes lineares foram muito significativos, vez que o menor  $r^2$  foi igual a 0,9739, referente ao III Estádio.

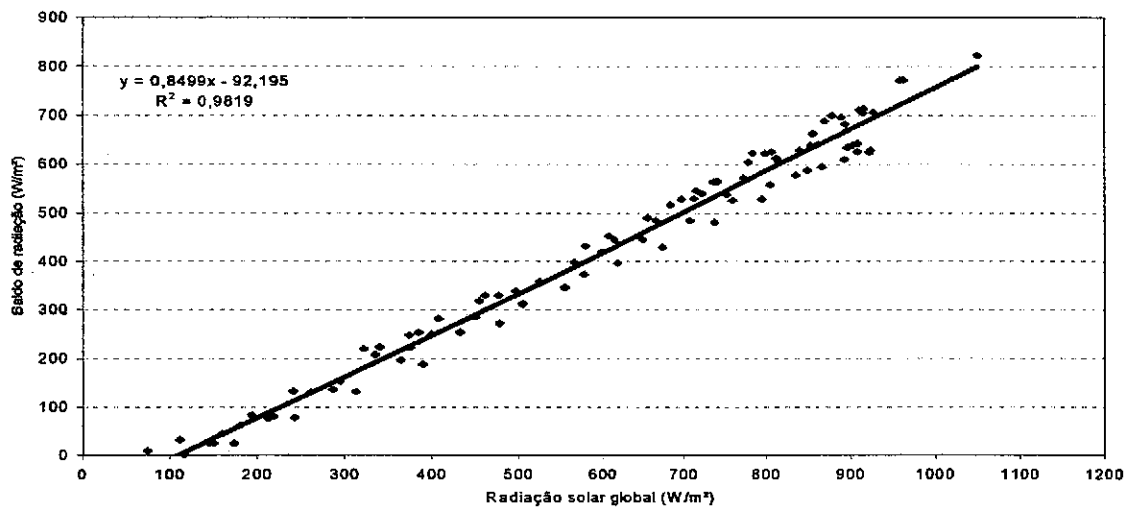
Em vários estudos se faz importante à estimativa do  $R_n$  em função da irradiação solar global, tanto para valores instantâneos (Bastianssem et al. 1998) como para valores diários (Allen et al. 1998). Nesse sentido, foram obtidos, para cada estádio, equações de regressão entre o  $R_n$  diário ( $MJ.m^{-2}$ ) e a irradiação solar global diária ( $MJ.m^{-2}$ ). Os resultados de tais estimativas se encontram representados nas Figuras 4.15 (a-c) e 4.16 (a-b). Os menores valores de  $R^2$  foram registrados no II e IV estádios, com valores de 0,7396 e 0,7662, respectivamente. No Estádio IV, por sua vez, foi registrado o maior coeficiente de determinação, com igual a 0,9935.

**Tabela 4.2** – Equações de regressão entre o saldo de radiação  $R_n$  ( $W.m^{-2}$ ) e a radiação solar global  $R_g$  ( $W.m^{-2}$ ), por estágio fenológico.

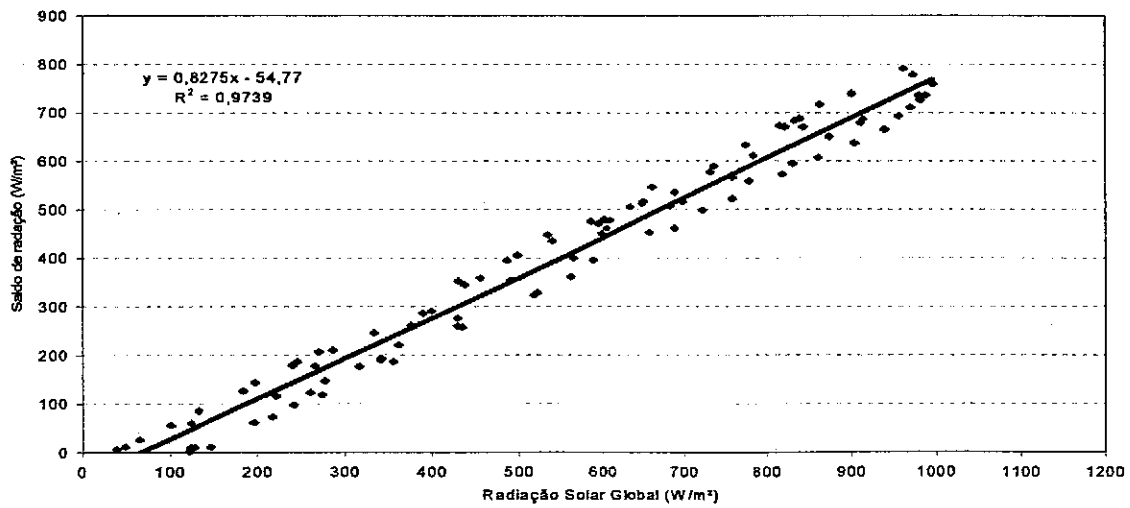
Estádio	Equação de regressão	Coefficiente de determinação ( $r^2$ )
I	$R_n = 0,8693.R_g - 101,07$	0,9958
II	$R_n = 0,8499.R_g - 92,195$	0,9819
III	$R_n = 0,8275.R_g - 54,770$	0,9739
IV	$R_n = 0,9032.R_g - 73,477$	0,9886
V	$R_n = 0,9417.R_g - 79,662$	0,9870



(a) Estádio I

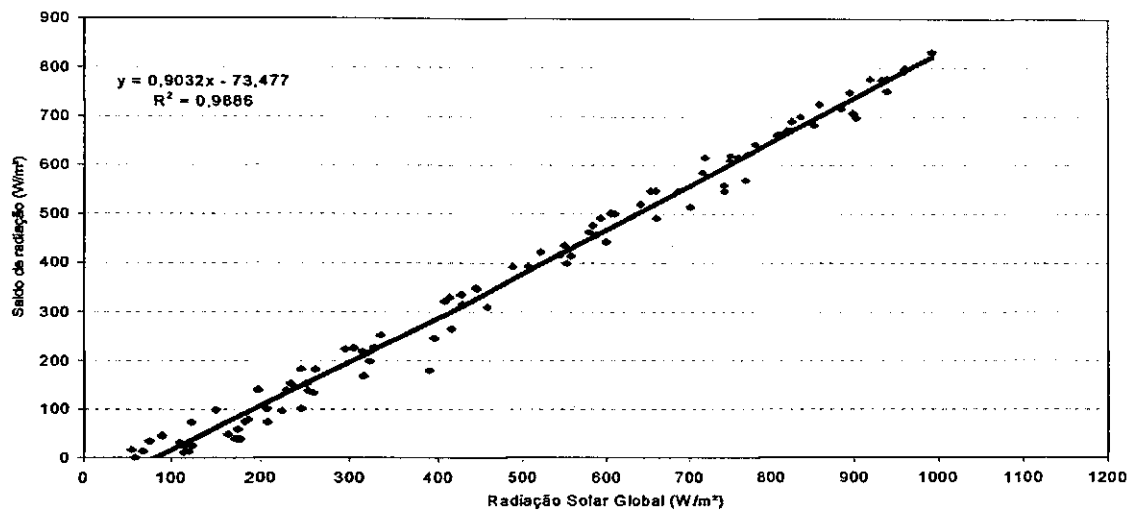


(b) Estádio II

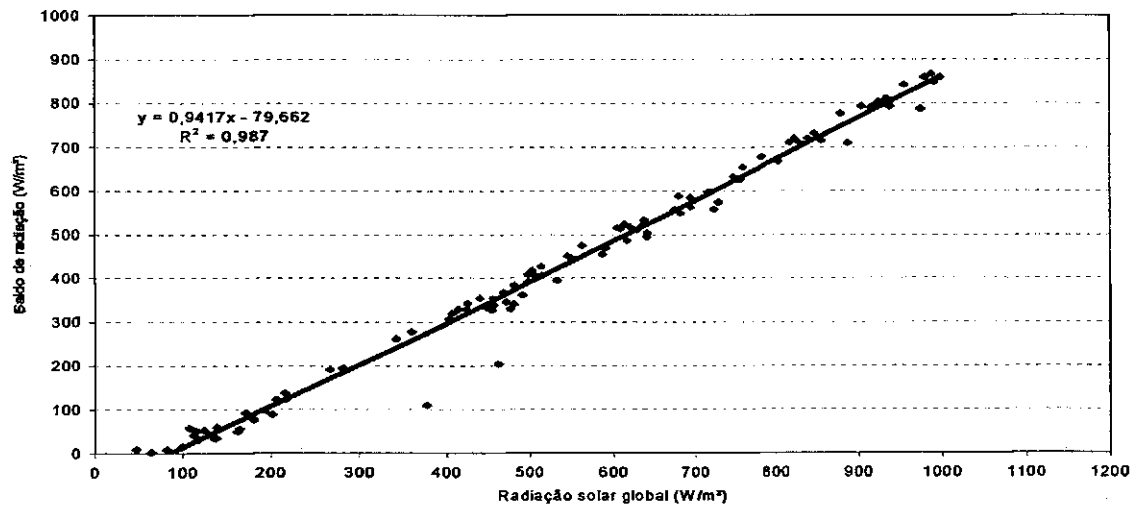


(c) Estádio III

**Figura - 4.13 – Relação entre o saldo de radiação - Rn e a radiação solar global para valores instantâneos Rg (W.m<sup>-2</sup>)**

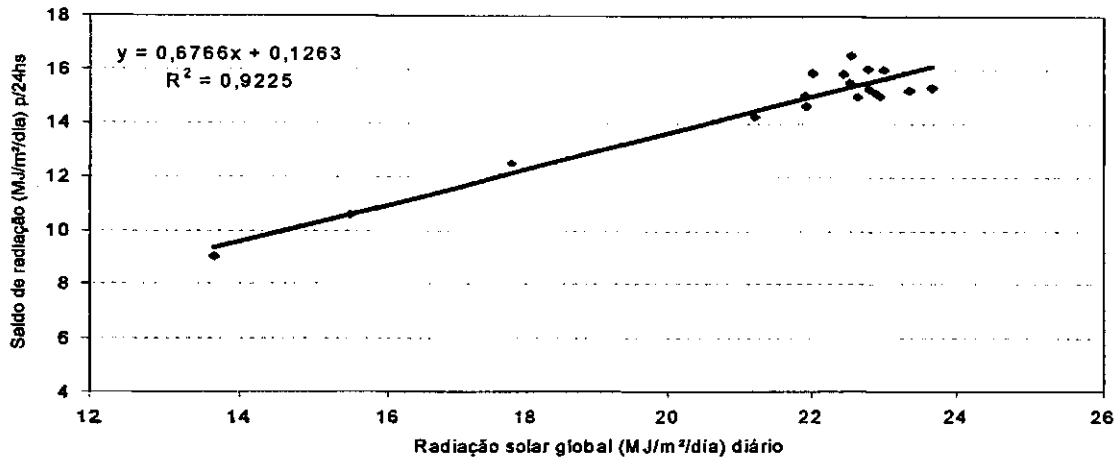


(a) Estádio IV

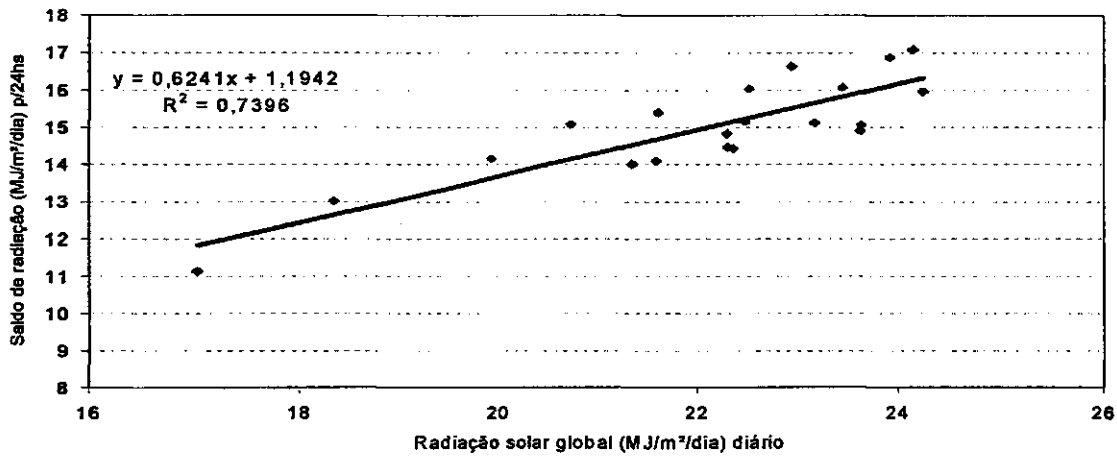


(b) Estádio V

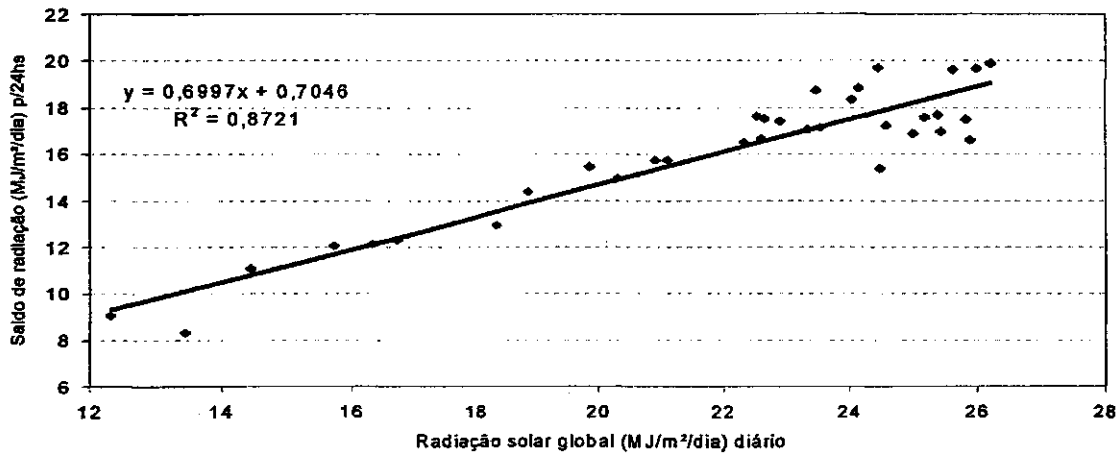
**Figura - 4.14 – Relação entre o saldo de radiação - Rn e a radiação solar global para valores instantâneos Rg (W.m<sup>-2</sup>)**



(a) Estádio I

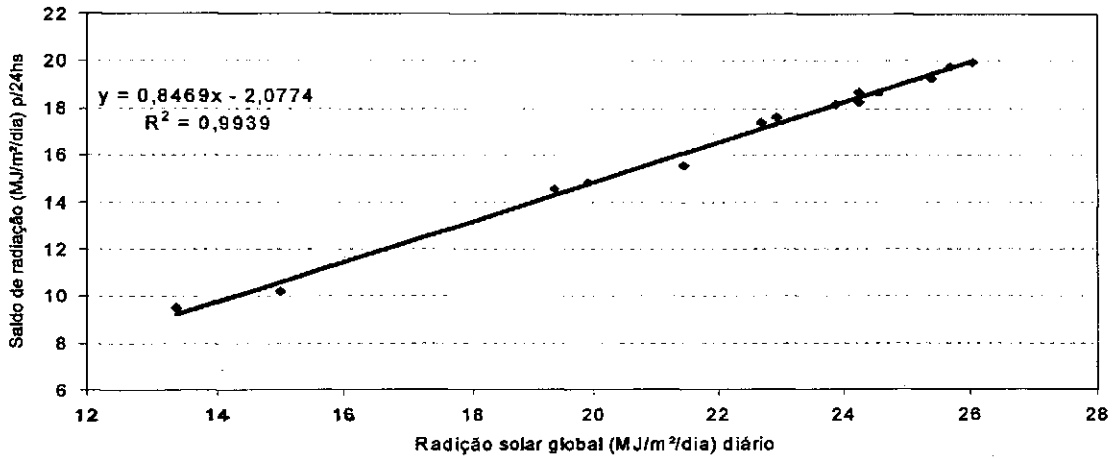


(b) Estádio II

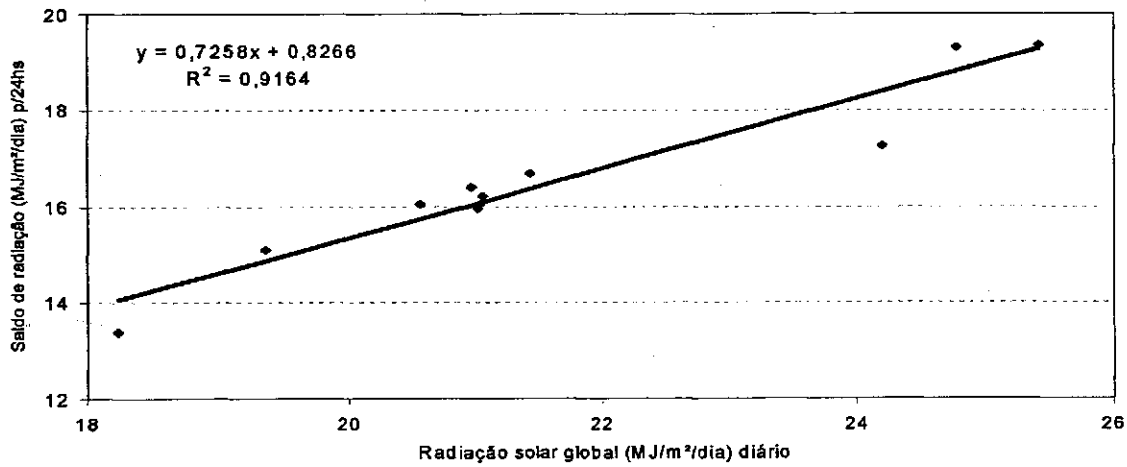


(c) Estádio III

Figura - 4.15 – Relação da radiação solar global diária com o saldo de radiação das 24hs em (MJ/m²/dia).



(a) Estádio IV



(b) Estádio V

**Figura - 4.16** – Relação da radiação solar global diária com o saldo de radiação das 24hs em (MJ/m<sup>2</sup>/dia).



---

## 5. CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas com a presente pesquisa, foram:

- a) irradiação solar global ou saldo de radiação são mais apropriados, como variável independente, na modelagem de algumas variáveis de crescimento, como área foliar, altura de planta e fitomassa seca, não obstante os coeficientes de determinação obtidos nas regressões das mesmas variáveis de crescimento com as datas que sucederam o plantio;
- b) a irradiação solar global é a componente do balanço de radiação mais determinante no comportamento do saldo de radiação, embora as magnitudes da média diária das componentes de onda longa, sejam muito maiores que os demais componentes do balanço de radiação;
- c) o albedo da cultura da emergência ao surgimento dos primeiros capulhos e manteve-se elevado no último estágio fenológico e surgimento da senescência;
- d) o rendimento da cultura alcançou valor de  $5.100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  e os fatores água e disponibilidade energética solar podem ser apontados como os principais fatores determinantes em tal rendimento;
- e) nos dois últimos estágios fenológicos da cultura, a radiação de onda longa atmosférica e a emitida pela cultura são de magnitudes elevadas, mas pouco contribuíram para o saldo diário da radiação;

- 
- f) a radiação refletida pela cultura aumentou do primeiro para o último

- f) a radiação refletida pela cultura aumentou do primeiro para o último estágio em proporção maior que a radiação solar global.

---

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J.K. Relationship between leaf and dry matter in winter wheat. *Agronomy Journal*, v.70, p.563-565, 1978.

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*, 27, 9, 1992.

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, p520.

ANGSTRÖM, A. The albedo of various surfaces of ground. *Geografiska Analem*, 07: 312-342, 1925.

ARAÚJO, J.A.P. de MELO, E.C. de S., SARAIVA, F. AM., CORREIA, A.M. Correlação entre coeficiente do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e os índices fisiológicos da análise de crescimento. **REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA**, 8, 2000, Mendoza-Argentina. CD...Mendoza-Argentina, Sociedade Argentina de Agrometeorologia: 2000.

ANDERSON, M.C. Radiation and crop structure. In: Z. Sestak, J. Castsky, and P.G. Jarvis (eds) **Plant Photosynthetic Production**. The Hague. Juuk, p.412-466, 1971.

ANDRÉ & VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brasil. *Agric. Meteorol.*, 30: 157-173 1983

ANDRÉ, R.G.B.; SILVA FILHO, V.P.; MOLION, L.C.B.; te al. Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (estações seca e úmida). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.3,n.2, p.269-274, 1988.

ARKIN, G.F; VANDERLIP, R.L. AND RITCHIE, J.T. A dynamic grain sorghum growth model. **Transactions American Society of Garishly Engineering.**, v.19, p.622-626, 1976.

AZEVEDO, E; HSIAO, T.C. and HANDERSON, P.W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. **Plant Physiology**, 48: 631-636, 1971.

AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; COSTA, J.P.R. Balanço de energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste . In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**; 6, 1989, Maceió-Al. Anais 01: 427-425, 1989.

AZEVEDO, P.V.; M.M.V.B.R.; SOUZA, I.F. de MACIEL, G.F. Balanço de radiação sobre as culturas, nas condições semi-áridas do cariri paraibano. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6, 1990, Salvador-Bahia. Anais 01: 33-38, 1990a.

AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R., SOUZA, I.F. de; MACIEL, G.F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**; vol.5(1), pp. 403-410, 1990b.

AZEVEDO, P.V.de; B.B.da; RAMANA RAO, T.V.; FROTA, R.N.B. e SOBRINHO, J.E. Modelos de estimativa da área foliar do algodoeiro herbáceo. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, VIII Porto Alegre. **Resumes**, p.197, 1993(b).

AZEVEDO, P.V; SILVA, B.B; RAMNA RAO, T.V.; FROTA, R.N.B. e SOBRINHO, J.E. Modelos de estimativa da área foliar do algodoeiro herbáceo. IN: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. 8, Porto Alegre, 27 a 30 de Julho de 1993. **Resumos...** Santa Maria – Rio Grande do Sul p.197, 1993.

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Ed. Bertrand Brasil S/A Segunda edição pp.332, 1983.

BARREIRO NETO, M. SOUZA, J.G de; BRAGA SOBRINHO, R.; VIEIRA, R. de M. Arquitetura da planta e queda de botões, flores e frutos em algodoeiro herbáceo tolerante à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.10, p.1085-1088, 1983.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p.161-217, 1976.

BELTRÃO, N.E. de M.VIEIRA, D.J.; NOBREGA, L.B. da; AZEVEDO, D.M.P.; SOUZA, R.P. & SILVA, S.F. – **Análise de crescimento do algodoeiro herbáceo de curta duração, cultivar CNPA Precoce 1**. IN: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECURIA. Centro Nacional de Pesquisa do algodão. Campina Grande, PB. **Relatório Técnico Anual** – 1985-86. Campina Grande, PB. 1988.

BELTRÃO, N.E. de M.; NÓBREGA, L.B. da, VIEIRA, D.J.; AZEVEDO, D.M.P.de; SOUZA, R.P. de **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo de curta**

duração cultivar CNPA Precoce, no sertão paraibano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.7, p.991-1001, julho, 1990.

BELTRÃO, N.E. de M.; AZEVEDO, D.M.P. de **Defasagem entre as produtividades real e potencial no algodoeiro herbáceo: Limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais**. Campina Grande, PB: Embrapa-CNPA. 1993. 108p. (Embrapa-CNPA, Documentos, 39).

BELTRÃO, N.E. de M.O. **Agronegócio do Algodão no Brasil**, Embrapa-Algodão, organizador. – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, v.1, p.92, 1999.

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

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.733-743, jul. 1988.

BERLINRE, P., OOSTERHUIS, D.M., GREEN, G.C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. **Agric. and For Meteorol.**, Amsterdam, v.31, 219-230, 1984.

BLAD, B.L.& BAKER, D.G. Reflected radiation from soybean crop. **Agronomy Journal**, 64: 227-280 1972.

BLACKMAN, G. E., Influence of light and temperature on leaf growth. In: F. L. Milthorp (ed). **The growth of leaves**. Butterworths, London, p. 151-167, 1956.

BRIGGS, G.E., KIDD, E., WEST, C.A. Quantitative Analysis of Plant Growth. Part I **Ann. Appl. Biol.**, 7(1): p. 103-123, 1920.

BUDIKO, M.I. The heat balance of the earth's surface. Translation by Nina A. Stepanova U. A. **Atomic Energy Comission Report**, pp229-231, 1958.

BURMAN, R., POCHOP, L.O. **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. Amsterdam: 1994. 278p.

CHARLES-EDWARDS, D.A. **Physiological determinants of crop growth**. London, Academic Press, 1982. 235p.

CHARLES-EDWARDS, D.A.; DOLEY, D. RIMMINGTON, G.M. **Modeling plant growth and development**. North Redy, Academic Press, 1986. 235p.

CHANG, JEN-HU. **Climate and Agriculture: An ecological survey**. Chicago, Aldine, 3 ed., 304 pp, 1968.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. Balanço de radiação em cultura de milho. In **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**; 6, Maceió. Anais: 322-329, 1989a.

CUNHA, G.R.; PAULA, J.R.F., BERGAMASCHI, H.; SAIBRO, J.C.; BERLATO, M.A. Balanço de radiação em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**; Santa Maria; vol.1, n.1, pp.1-10, 1993.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho: estudos de casos. In **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**; 6, Maceió. Anais: 417-426, 1989b.

CUNHA, G.R.; PAULA, J.R.F., BERGAMASCHI, H.; SAIBRO, J.C.; BERLATO, M.A. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**; Santa Maria; vol.1, pp.1-14, 1993.

CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Rev.Bras. de Agrometeorol.**, Santa Maria, v.2, p.9-16, 1994.

DANTAS, R.T.; ESCOBEDO, J.F. Índices morfológicos e rendimentos da alface (*Lactuca Sativa L.*) em ambiente natural e protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.27-31, 1998.

DAVIS, J.A. & IDSO, S.B., In BARFIELD, B.J. & GEBER, J.F. **modifications of Aerial Environment of Crops**. Ed. American Soc. Agricultural Engineers.pp.505-508, 1979.

DENMEAD, O.T.; FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. Spatial distribution of net radiation in a cornfield. **Agron. J.**, 54: 505-510, 1962.

DIRMHIRN, J. & BELT, G.H. Variation of albedo of selected sagebrush range in the intermountain region **Agric. meteorol.**, 09:51-61, 1971

DOORENBOS, J., KASSAN, A.H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: **FAO**, 1979. 212p.

DRANSFIELD, M. Some effects of gibberellic acid on cotton. **Empire Cotton Growing Review**, v.38, p.3-16, 1961.

EATON, F.M. Physiology of cotton plant. **Annals Review Plants Physiology**, 6: 299-328, 1955.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. Tradução e notas de E. Malavolta. Rio de Janeiro, **Livros Técnicos e Científicos**; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 344p. 1975.

FELIPPE, G.M.; VÁLIO, I.F.M.; PEREIRA, M.F.A.; SHARIF, R.R.; VIEIRA,S.R.; **Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal** – Rio de Janeiro. 66p, 1983.

- FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. São Paulo: EPU, Volume 2. 401p,1986.
- FISCHER, R. A. & HAGAM, R. M., Plant water relations. Irrigation management and crop yield. **Experimental Agricultural**. v. 1, p. 101-117, 1965.
- FONTANA, D.C.; CUNHA, G.R. BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R; BUENOS, A.C. Balanço de radiação e balanço de energia em cultura de girassol. **Vi Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 6, Maceió-Al. Anais: 313-321, 1989.
- FRITSCHEN, L.J. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. **Agric. Meteorol.**4: 56-62, 1967.
- FROTA, R.N.B. **Comportamento fisiológico e morfológico da cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* r.latifolium), irrigado nas condições de Nordeste Brasileiro, Campina Grande, (Tese de Mestrado), 1994.**
- GAASTRA. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. **Meded. Landbowhogesch.**, Wageningen 59: 1-68, 1958.
- GATES, D. M. Radiant energy, its receipt and disposal. **Agric. Meteorol.** (PE. Waggoner, ed.), chap. 1 (Meteorol. Mongr. 6: 1-26). Am. Meteorol. Soc., Boston, 1965.
- GATES, C.T. Water deficits and growth of herbaceous plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed) **Water Deficits and Plant Growth**, New York, Academic Press, vol.2, p.135-190, 1968.
- GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C; BONHOMME, R; CHARTIER, M; ALLIRAND, J.M. & LEMAIRE, G. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert vegetal. **Agronomie**. , v.6,p.47-56, 1986.
- GREGORY, F.G. Physiological Conditions in Cucumber Houses. **Rep. Exp. Snt., Cheshunt**, 3:19, 1917.
- GRIDI-PAPP, I.L. Botânica e genética. INSTITUTO BRASILEIRO DE PASTOSSA. **Cultura e adubação do algodoeiro**. São Paulo, p.117-160, 1965.
- GRIMES, D.W.; EL-ZIK, K.M. Cotton. In: STWART, B.A.; NIELSEN, D.R. **Irrigation of agricultural crops**. Wisconsin: [s.n.], p.741-773 (Série Agronomy, 30), 1990.
- GUINN, G. Hormonal relations in flowering, fruiting and cut-out. In: **BELT WIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE**, 1979, Phoenix. Proceedings...Memphis: National Cotton Council, 1979. p.265-276.

HANKIS, R.J.; BOWERS, S.A.; BARK, L.D. Influence of soil surface conditions on net radiation, soil temperature and evaporation. **Soil Science**, 91: 233-238, 1961.

HANSEN, P. The influence of fruit on the photosynthesis of the leaves, and the relative photosynthetic yields of fruits and leaves. **Plant Physiology**, v.23, p.805-810, 1970.

HEARN, A. B., Emergence of crops in clay soils of the control sundam rain bands in relation to soil water and air-fuelled pore space. **Experimental Agricultural**, v.64, p.287-302, 1975.

HEARN, A. Response of cotton to water and nitrogen in tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, v.84, p.407-417, 1975.

HODGES, T. & KANEMASU, E.T. Modeling daily dry mater production of winter wheat. **Agronomy Journal**, v.69, p.674-678, 1987.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.591-570, 1973.

IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, B. A.; et al. The dependence of bare soil albedo on water content. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.14, p.109-113, 1975.

JACOB, A.F.G. & VAN PUL, W.A.J. Seasonal changes in the albedo of a maize crop during two seasons. **Agricul. Forest Meteorol.**, 49: 351-360, 1990.

JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1990. 332p. (**ASCE - Manual and reports on engineering practice, 70**).

KARALIS, J. D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 48, p. 225-34, 1989.

KANEMASU, E.T.; STONE, L. R. and POWERS, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agronomy Journal**, v.68, p.569-572, 1976.

KING, E.J. **Water stress behavior of Pima cotton** in Arizona, U.S. Dep. Agr. Bull (1018): 1-24, 1922.

KRAMER, P.J. **Plant and Soil Water Relationships**. A. Moderna Synthesis. McGraw-Hill, Book Company, Inc., New York 1969.

KRUDEV, T.G. **Água, vida das plantas**. São Paulo. Ícone, 1994.178p.

LEITÃO, M.M.V.B.R. **Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada**. DCA/CCT/UFPB, Campina Grande-PB. 110p. 1989.(**Dissertação de Mestrado**).



LING, A.H. & ROBERTSON, G.W. Reflection coefficients of some tropical vegetation covers. *Agric. Meteorol.*, 27: 141-144, 1982.

MANZI, A.O.; MOLION L.C.B.; SANTOS, J.M. estudos de radiação de ondas longa em floresta de terra firme na região de Manaus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. *Anais...*, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985, p.113.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo, Universitária, 1985. p.333-49.

MAGALHÃES, A.C. & SILVA, W.J. Determinantes genéticos-fisiológicos da produtividade do milho. In: FUNDAÇÃO CARGIL. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Campinas, 1985. p.425-47.

MAUNEY, J.R. Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. *Journal Experimental Botany*, v.17, p.452-459, 1966.

MAUNEY, J.R. Anatomy and morphology of cultivated cottons. In: KOHEL, R.J.; LEWIS, C.F. *Cotton*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1984. p.58-80.

MAYERS, J.D.; LAWN, R.J.; BYTH, D.E. Agronomic studies on soybean (*Glycine max* (L.) Merril) in the dry seasons of the tropics. I Limits to yield imposed by phenology. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, v.42, p.1075-1092, 1991.

MEYER, W.S. and GREEN, G.C. Water use by wheat and plant indicators of available soil water. *Agronomy Journal*, v.72, p.253-257, 1980

MILLAR, A.A.; GARDNER, W.R. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, n.5, p.559-562, Setp. /Oct. 1972.

MILTHORPE, F.L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant área. In MILTHORPE, F.L. (Ed). *The Growth of leaves*. London: Butterworths Scientific, 1986, p.141-50.

MONTAITH, J. L. The heat balance of soil beneath crops. In: SIMPOSIUM ZONE RES. CLIMATOLOGY AND MICROMETEOROLOGY, 11.º Camberra, UNESCO. *Proceeding*, London 11; 123-28 1958.

MONTAITH, J. L. and SZEICZ, G. Radioactive temperature in the heat balance of natural surface. *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society* v.88, p. 496-507, 1962.

MONTAITH, J.L. Light distribution and photosynthesis in field crops. *Annals of Botany*, N.S.v.29, p.17-37, 1965.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p747-766, 1972.

MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão água do solo e do parcelamento da adubação nitrogenada, sobre o crescimento e produtividade do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). Botucatu: UNESP-Campus de Botucatu, 1993. 100p. **Tese de Doutorado**.

MOTA, F.S. Meteorologia Agrícola. **Biblioteca Rural**, Livraria Nobel S/A, 7ª ed., 376pp., 1983.

MOURA, M.S.B. Balanço de radiação em um solo descoberto, para duas épocas diferentes, em Mossoró-RN. Mossoró: ESAM, 1998. 72p. (Monografia)

MUCHOW, R.C. Na analysis of the effects of water deficits on grains legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its use. **Field Crops Resesearch**, Amsterdam, v.11, p.309-323, 1985.

NEVES, O. S.; CAVALEIRI, P.A.; VERDADE, F.C.; JUNQUEIRA, A.A.B. e GRIDI-PAPP, I L. **Cultura e adubação do algodoeiro**. 67p. Editor Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, 1986.

OLIVEIRA, G.M. **Advecção sobre uma cultura de amendoim irrigado**. DCA/ CCT/UFPB, Campina Grande – PB, 111p. 1998. (Dissertação de Mestrado).

OMETTO, A. C. **Bioclimatologia Vegetal**. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo - SP, 1981. 225p.

OOSTERHUIS, D.M. Growth and development of a cotton plant. Fayetteville: University of Arkansas, **Arkansas Cooperative Extension Service**, 1992. 24p. (MP332-4M-92R)

OWONUBI, J.J.; KANEMASU, E.T. & POWER, W.L. The microclimate of marrow and wide-row sorghum with equal plan densities. **Agric. Meteorol.**, 15: 61-69, 1975.

PARRY, G. **Le cotonnier et sés produites**. Paris: G.P. Missonneuve & Larose, 502p, 1982.

PAYNE, W.A.; WENDT, C.W.; HOSSNER, L. R. and GATE, C.E. Estimating pearl unilet leaf area and specific leaf area. **Agronomy Journal**, v.83, p.937-941, 1991.

PEARCE, R. B., BROWN, R. H. and BALSER, R.E. Relationship between leaf area index, light interaction and net photosynthesis in archardgass. **Crop Science**, v.5, p.553-556, 1965.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. Campinas: IAC, 1987. 33p. (IAC. Boletim Técnico, (114).

PINHEIRO, F.M.A. & PINHEIRO JUNIOR, H.S. Albedo e índice de área folheada em uma cultura de trigo. **VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**; 6, 1989, Maceió-Al. Anais:436-444, 1989.

RAY, L.L.; WENDT, C.W.; ROARK, B.; QUISEMBERRY, J.E. Genetic modification of cotton plants for more efficient water use. **Agricultural Meteorology**, v.14, p.31-38, 1974

REDELFS, M.S., STONE, L.R., KANEMASU, E.T. and KIRKHAN, M.B. Greenness-leaf area uindex relationships of severn row crops. **Agronomy Journal**, 79:254-529, 1991.

RIJKS, D.A. Water use by irrigated cotton in Sudan IN: reflection of short-wave radiation. **J. Appl. Ecology**, 4: 561-568, 1967.

RITCHEI, J.T.; BURNETT, E. Dryland. Evaporative Flux In á Subhumid Climate II Plant Influence **Agronomy Journal**, v.63, p.51-55, 1971.

RITCHEI, J. T. Dryland evaporative flux in a subhumid climate I. Micrometeorological influences. **Agronomy Journal**, v.63, p.51-55, 1971.

RITCHEI, J.T.; BURNETT, E. and HERDERSON N, R.C. Dryland, evaporative flux in a subhumid climate. 3. Soil water influences. **Agronomy Journal**, 64: 168-173, 1972.

RITCHEI, J.T. Atmospheric and soil-water influences on the plant-water balance. **Agricultural Meteorology**, v.14p, 183-198, 1974.

ROBERTSON, G.W. Development of simplified agroclimatic procedures for assessing temperature effects on crop development. Plant response to climatic factors. In: **UPPSALA SYMPOSIUM/RESPONSE DES PLANTES AUX FACTEURS CLIMATIQUES**, 1973, Paris, Proceedings...Paris: UNESCO, 1973. p. 327-43.

RODRIGUES, L.N.; SEDIYAMA, G.C.; MARTINEZ, M.A.; et al. Estimativa do Albedo com base em dados discretos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.223-225, 1997.

ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. The radiation balance. In: **Microclimate: The Biological Environment** 2. ed. New York, 1983. p. 493.

ROSS, J. Mathematical models of photosynthesis in a plant stand. In: I.Seltik (ed) **Prediction and measurement of photosynthetic production. Produc. Wageningen**. The Netherlands, p.29-45, 1970.

SALTER, R. Y. & GOOD, J. E. **Crop response to water at different stages of growth**. England. CAB. 1967. 246p.

SANTOS, J.M.; FRANCISCO, V.P.S.; FISH, G.; et al. Radiação de onda longa utilizando observações de superfície na região de Tucuruí – PA. In: **BOLETIM TÉCNICO**, 4, Campinas, 1984. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984, 53p.

SENTELHAS, P.C., PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R. **Meteorologia agrícola**. 3 ed. Piracicaba: ESALQ/LCE, 2000. 172p.

SESTÁK, Z.; CATSKY, J.; P.G. Plant Photosynthetic production: **manual of methods**. The Hague: W. Junk, 1971. 818p.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation and dry matter production by soybeans. **Crop Science**, Madison, v.5, p.575-577, 1965.

SHIN, S.F. and GASCHO, G.J. Relationships among stalk length, leaf area, and dry biomass of sugarcane. **Agronomy Journal**, v. 72, p.309-312, 1980.

SILVA, B.B. da RAO, T.V.R., AZEVEDO, P.V.de, SOUZA, C.B.de. Quantificação de estresse hídrico em algodoeiro herbáceo com termometria infravelha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, 45-51, 1995.

SOUKUP, C.V.B., PERECIM, D., DEMATTÊ, M.E.P. Equações de regressão para estimativa de área foliar. **Aplicações a duas espécies de begônias**. Científica, v.14, n.1/2, p.93-99, 1986.

SOUZA, J.G; BARROS, A.C.Q.T. e SILVA, J.V. Reservas de hidratados de carbono e resistência do algodoeiro à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.269-273, 1983.

SOUZA, J.G. de.; SILVA, J.V. da Influência da manipulação genética do teor de acumulação de amido na raiz sobre a fenologia do algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.9, p.1303-1309, 1992a.

SOUZA, J.G.; SILVA, da Contribuição de material genético do algodoeiro de espécies selvagens para o melhoramento para as condições de escassez hídrica. In: **REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO**, 7., 1993, Cuiabá. **Resumos...Cuiabá: EMPAER**, p.160, 1993.

SOUZA, J.G. de; SILVA, J.V. da Relações entre a fenologia, fotossíntese e respiração no algodão selecionado quanto ao alto e baixo teor de amido das raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.5, p.743-749, 1994a.

SOUZA, J.G. de; SILVA, J.V. da Fenologia e fisiologia do algodoeiro arbóreo após a seleção para acúmulo de amido nas raízes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.6, n.9, p.145-148, 1994b.

SOUZA, C.B. **Estudo de parâmetros morfofisiológicos da cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) em condições diferentes de irrigação no vale do Asu-RN**, Campina grande, (Tese de Mestrado), 1994.

---

STOY, U. The translocation of C<sup>14</sup> labelled photosynthetic products from the leaf of the ear in wheat's physiology plants. *V.16*, 851-866, 1983.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.*, Madison, v.24, p. 1-9, 1960.

TANNER, C.B. and JURY, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. *Agronomy Journal*, v.68, p.239-243, 1976.

TEIXEIRA, A.H.C.; LIMA FILHO, J.M.P; SOARES, J. M. Saldo de radiação e índice de área foliar na cultura da videira, conduzida em um sistema de latada. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...*, Piracicaba: **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 1997, p.523.

THORNTHWAITE, C.W. and MATHER, J.R. The computation of soil moisture. *Publications in Climatology*, Cinteron, N.J., 7:397-402, 1955.

VIANELLO, L.R., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991,449p.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and years. *Ann. Bot.* 11: 41-76, 1947.

WATSON, D. J. The Physiological Basis of Variation in Yield. *Advances in Agronomy*, 4: 101-145, 1952.

WELBANK, P.J., FRENCH, S.A.W. and WITTS, K.J. Dependence of yields of wheat varieties on the leaf area duration. *Annals of Botany*, v.30, p.291-299, 1966.

WILLIAMS, R.F. The Physiology of Plant Growth With Special Reference To The Concept of Net Assimilation Rate. *Ann. Bot.*, v.10, n.3, p.40-72, 1946.

WILLIAMS W. A.; LOOMIS, R.S. e LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth net assimilation rate and leaf area index. *Crop Science*, v.5, p.215-219, 1965.

YAO, A.Y.M. & SHAW, R.H. effect of plant population and pattern on the radiation. *Agron. J.*, pp. 165-170, 1964.