

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET – UFAL – MS-036

**BALANÇO DE RADIAÇÃO COMO SUBSÍDIO AO CULTIVO DO
MILHO NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS**

Por

JOAQUIM LOURO DA SILVA NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSE LEONALDO DE SOUZA

MACEIÓ-AL

2006

BALANÇO DE RADIAÇÃO COMO SUBSÍDIO AO CULTIVO DO MILHO NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

JOAQUIM LOURO DA SILVA NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSE LEONALDO DE SOUZA

Dissertação submetida ao colegiado do curso de Pós-Graduação em meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em meteorologia.

MACEIÓ-AL

2006

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S586b Silva Neto, Joaquim Louro da.
 Balanço de radiação como subsídio ao cultivo do milho nos tabuleiros costeiros
 de Alagoas / Joaquim Louro da Silva Neto. – Maceió, 2006.
 xiv, 53f. : il., grafs., tabs.

Orientador: José Leonaldo de Souza.

Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió,
2006.

Bibliografia: f. 51-53.

1. Meteorologia. 2. Radiação solar. 3. Plantas – Efeito da radiação solar.
4. Milho – Cultivo. I. Título.

CDU: 551.521.31:633.15

Aos meus queridos pais

Severino Louro da Silva

e

Maria Helena Azevedo Louro da Silva

A minha querida esposa

Maria de Fátima Ferreira Louro

Aos meus queridos irmãos

Manoel Reinaldo Azevedo Louro da Silva

Marcelo José Louro da Silva

Maria Gildelena Louro da Silva

Maria Jucelene Louro da Silva

José Valdêmio Azevedo Louro da Silva

Aos meus **sobrinhos, afilhados, cunhadas e cunhado**

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **José Leonaldo de Souza**, agradeço pela sua dedicada orientação, paciência e ensinamentos, no qual me conduziram ao término da minha dissertação.

Ao Prof. Dr. **Marcos Moura**, agradeço pelos seus ensinamentos, pelo incentivo e apoio desde o início da graduação, no qual me levou a uma melhor compreensão sobre a radiação solar.

Aos colegas de profissão: **Cléa, Flávia, Christiane, Alisson, Paulo, Milito, Alexandre (Puf!), marcos Paulo, Evaldo, Climbin, Juliane, Carlos, Joanna, Andréia**, agradeço pela amizade e a boa convivência que tivemos durante o curso.

Aos colegas de laboratório: **Erisson, Erikson, Iedo, Paulo Ricardo, Everton, Tarcisio, Eduardo, Priscila, Alexandro, José Edmilson, Ricardo**, agradeço pela ajuda na condução do experimento, nos trabalhos computacionais e pela boa convivência.

Aos professores: **Elenice, Hélio, Ferreira, Toledo, Ricardo Amorim, Roberto Lyra, Humberto Alves, Clênio, Gilson Moura**, agradeço pelos ensinamentos, pelo incentivo e apoio.

Aos professores: **Simone Vieira de Assis, Frederico Tejo Di Pace**, agradeço pela participação na banca examinadora e por dar dicas para o melhoramento da minha dissertação.

SUMÁRIO

		Pg.
1.0 -	INTRODUÇÃO.....	01
2.0 -	REVISÃO DE LITERATURA.....	03
	2.1 – Crescimento e desenvolvimento do milho.....	03
	2.2 – Balanço de radiação em cultivo de milho.....	05
3.0 -	MATERIAIS E MÉTODOS.....	08
	3.1 – Características da área do plantio.....	08
	3.2 – Análise de crescimento e desenvolvimento do plantio.....	08
	3.3 – Observações meteorológicas.....	09
	3.4 – Estimativas de radiação.....	10
	3.5 – Equações utilizadas.....	10
	3.6 – Análise do comportamento das variáveis.....	11
4.0 -	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	12
	4.1 – Características culturais.....	12
	4.1.1 – Altura da planta em função dos dias após a emergência.....	12
	4.1.2 – Índice de área foliar em função da altura da planta.....	12
	4.1.3 – Índice de área foliar em função dos dias após a emergência.....	13
	4.2 – Estimativas de Radiação.....	13
	4.2.1 – Radiação fotossinteticamente ativa em função da radiação global...	13
	4.2.2 – Saldo de radiação em função da radiação global.....	19
	4.2.3 – Radiação global abaixo do dossel em função de Rg e IAF.....	19
	4.2.4 – Saldo de radiação abaixo do dossel em função de Rn e IAF.....	23
	4.2.5 – Radiações abaixo do dossel em função de Rg e IAF para o plantio de 2002.....	24
	4.3 – Balanço de radiação.....	29
	4.3.1 – Balanço de ondas curtas.....	29
	4.3.2 - Análise da radiação fotossinteticamente ativa no cultivo do milho...	33
	4.3.3 – Radiação solar global medida na superfície em baixo do dossel.....	33
	4.3.4 balanço de radiação sobre a cultura do milho.....	39
	4.4 – Albedo.....	39
	4.4.1 – Variação do albedo médio horário.....	39
5.0 -	CONCLUSÕES.....	46
6.0 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE TABELA

		Página
1	Regressão obtida nas características culturais, para o plantio de milho nos anos de 2000, 2001 e 2002.....	18
2	Regressão obtida através das estimativas de radiação, para o plantio de milho nos anos de 2000, 2001 e 2002.....	28
3	Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho de sequeiro com manejo, realizado no ano de 2000 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).....	30
4	Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho de sequeiro sem manejo, realizado no ano de 2001 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).....	31
5	Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho irrigado, realizado no ano de 2002 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).....	32
6	Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho de sequeiro com manejo, realizado no ano de 2000 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (kt) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3) emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).....	34

7	Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho de sequeiro com poucas práticas de manejo, realizado no ano de 2001 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (k_t) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7)	35
8	Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho irrigado, realizado no ano de 2002 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (k_t) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).....	36
9	Variação horária da radiação solar global (R_g), radiação global entre linhas (R_{gs1}) e radiação global entre plantas (R_{gs2}) em função do IAF e do coeficiente de extinção atmosférico horário (k_t).....	37
10	Variação horária da radiação solar global (R_g), radiação global entre linhas (R_{gs1}) e radiação global entre plantas (R_{gs2}) em função do IAF e do coeficiente de extinção atmosférico horário (k_t).....	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Variação da altura da planta em função dos dias após a emergência no ano 2000.....	14
2 Variação da altura da planta em função dos dias após a emergência no ano 2001.....	15
3 Variação do índice de área foliar em função da altura da planta no ano de 2000.....	15
4 Variação do índice de área foliar em função da altura da planta no ano 2001.....	16
5 Variação do índice de área foliar em função dos dias após a emergência no ano 2000.....	16
6 Variação do índice de área foliar em função dos dias após a emergência no ano 2000.....	17
7 Variação do índice de área foliar em função dos dias após a emergência no ano 2002.....	17
8 Variação da radiação fotossinteticamente ativa em função da radiação global.....	19
9 Variação do saldo de radiação em função da radiação global para o ano de 2000.....	20
10 Variação do saldo de radiação em função da radiação global no ano de 2001.....	20
11 Variação do saldo de radiação em função da radiação global no 2002.....	21
12 Variação da razão entre a radiação solar na superfície (R_{gs}) e a radiação solar no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2000.....	22
13 Variação da razão entre a radiação solar na superfície (R_{gs}) e a radiação solar no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2001.....	22
14 Variação da razão entre a radiação solar na superfície (R_{gs}) e a radiação solar no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2002.....	23

15	Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície e o saldo de radiação no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2000.....	25
16	Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície e o saldo de radiação no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2001.....	25
17	Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície e o saldo de radiação no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2001.....	26
18	Variação da razão entre o saldo de radiação na superfície e a radiação global em função do índice de área foliar no ano de 2002.....	26
19	Variação da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa na superfície e a radiação global em função do índice de área foliar no ano de 2002.....	27
20	Variação da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa medida na superfície e a radiação fotossinteticamente ativa medida no dossel das plantas em função do índice de área foliar no ano de 2002.....	27
21	Balanço de radiação sobre a cultura do milho desde a emergência ate a maturação para os anos (a) 2000 (b) 2001 e (c) 2002.....	40
22	Balanço de radiação fotossinteticamente ativa acima e abaixo do dossel da cultura do milho para os anos de (a) 2000 (b) 2001 e (c) 2002.....	41
23	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa do ano de 2000..	42
24	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva do ano de 2000	43
25	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa do ano de 2001..	43
26	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva do ano de 2001	44
27	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa do ano de 2002..	44
28	Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva do ano de 2002	45

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

AP	Altura da planta
CL	Céu claro
DAE	Dias após a emergência
IAF	Índice de área foliar
K	Coeficiente de extinção de luz
k_t	Coeficiente de extinção atmosférico
NB	Nublado
PN	Parcialmente nublado
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
ParAbs	Radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel
PAR_i	Radiação fotossinteticamente ativa incidente
PAR_s	Radiação fotossinteticamente ativa medida na superfície a baixo do dossel
ParTr	Radiação fotossinteticamente ativa transmitida a superfície abaixo do dossel
r	albedo
R_g	Radiação global
R_{gs}	Radiação global medida na superfície a baixo do dossel
R_{gs1}	Radiação global medida na superfície entre as plantas
R_{gs2}	Radiação global medida na superfície entre linhas
R_n	Saldo de radiação
R_{ns}	Saldo de radiação medido na superfície a baixo do dossel

BALANÇO DE RADIAÇÃO COMO SUBSIDIO AO CULTIVO DO MILHO NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

AUTOR: JOAQUIM LOURO DA SILVA NETO

ORIENTADOR: JOSÉ LEONALDO DE SOUZA

RESUMO

Analizou-se o balanço de radiação na cultura do milho através de três experimentos agrometeorológicos, sendo dois em condições de sequeiro e um irrigado, em uma área experimental no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Rio Largo – AL (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m), região de Tabuleiros Costeiros. Todos os instrumentos que monitoraram as variáveis meteorológicas foram ligados a um sistema automático de aquisição de dados, 21XL, da Campbell Scientific. A cultura do milho da variedade BR 106 atingiu uma altura máxima e um índice de área foliar máximo na fase fenológica de emissão do pendão, nos três experimentos. Foi estabelecida estimativa de saldo de radiação em função da radiação global ($R_n \times R_g$) e radiação fotossinteticamente ativa em função da radiação global ($PAR \times R_g$). Determinaram-se também as relações entre os componentes de radiação e os parâmetros de crescimento do milho, principalmente em função do índice de área foliar. Foi definida estimativa dos parâmetros de crescimento do milho: altura da planta em função do dia após a emergência ($AP \times DAE$), índice de área foliar em função do dia após a emergência ($IAF \times DAE$) e índice de área foliar em função da altura da planta ($IAF \times AP$).

Analizou-se a variação da radiação solar global entre as plantas (R_{gs2}) e entre as linhas do plantio (R_{gs1}) durante o transcorrer do dia em função do índice de área foliar (IAF) e encontrou que, com IAF igual a 0,67 a porcentagem de radiação transmitida para superfície foi de 98% para R_{gs1} e 97% para R_{gs2} . Com o IAF de 1,35, essa transmissividade foi de 70% e 53% para R_{gs1} e R_{gs2} respectivamente. Com o IAF de 2,00 foi encontrada uma transmissividade de 58% para R_{gs1} e 32% para R_{gs2} . Em média o saldo de radiação (R_n) obteve um valor de 10,70 MJm⁻²; 11,91 MJm⁻² e 13,63 MJm⁻² para os anos de 2000, 2001 e 2002 respectivamente. A eficiência da radiação (R_n/R_g) foi em média de 74% para os dois primeiros experimentos e 77% para o último plantio.

Os albedos médios horário na fase reprodutiva do plantio de 2000 e 2001, obtiveram comportamentos semelhantes, enquanto que na fase reprodutiva do plantio de 2002 os albedos médios horários entre as fases foram diferentes. O menor albedo médio horário foi encontrado na fase fenológica de emergência, esse fenômeno foi observado nos três cultivos.

RADIATION BALANCE AS SUBSIDY FOR THE CULTIVATION OF MAIZE IN THE COASTAL TRAYS OF ALAGOAS

AUTOR: JOAQUIM LOURO DA SILVA NETO

ORIENTADOR: JOSÉ LEONALDO DE SOUZA

ABSTRACT

The radiation balance in the maize crop was analyzed via three agro-meteorological experiments conducted at the Agrarian Science Center (CECA) at the Federal University of Alagoas (UFAL), Rio Largo, AL (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m). Two experiments were conducted in dry conditions and one in irrigated conditions in the Coastal Trays region. All of the instruments used to monitor the meteorological variables were connected to an automatic data gathering system, 21XL, of Campbell Scientific. The cultivating of the BR 106 maize variety reached a maximum height and a maximum foliage index in the phenological phase of maize tassel emissions. A total radiation estimate (R_n) was established as a function of global radiation (R_g) and photosynthetically active radiation (PAR) as a function of global radiation. The relationship between the radiation components and maize growth parameters were also determined, especially as a result of leaf area index (LAI). An estimate of maize growth parameters was defined as follows: the height of the plant as a result of the day after the emergency, the leaf area index as a result of the day after the emergency and the leaf area index as a result of the height of the plant.

The variation of the global solar radiation between the plants (R_{gs2}) and the row of planting (R_{gs1}) was analyzed throughout the day as a result of LAI. It was found that with LAI equal to 0.67 the percentage of radiation transmitted into the surface was 98% for R_{gs1} and 97% for R_{gs2} . With the LAI at 1.35, that transmission was 70% and 53% for R_{gs1} and R_{gs2} , respectively. With the LAI at 2.00 a transmission of 58% was found for R_{gs1} and 32% for R_{gs2} . On average the total radiation was 10.70 MJm^{-2} ; 11.91 MJm^{-2} and 13.63 MJm^{-2} , for the years 2000, 2001 and 2002, respectively. The radiation efficiency (R_n/R_g) was an average of 74% for the first two experiments and 77% for the last planting.

The average albedos schedule in the reproductive planting phase 2000 and 2001, showed similar rhythms, while in the reproductive phase of the 2002 planting, the average albedos schedule between the phases were different. A lower average albedos schedule was

found in the phenological emergency. This phenomenon was observed during the three cultivations, with the global radiation reflection on the naked soil being more credited.

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia disponível na superfície terrestre (que resulta do balanço de radiação) que é utilizada nos processos físicos e biológicos de microorganismos, plantas e animais. A maior parte do saldo dessa energia na superfície é utilizada para o aquecimento do ar, para aquecer o solo e para a evaporação da água.

A produção de matéria vegetal, sob ótimas condições de umidade e nutrientes do solo, é condicionada pela radiação solar disponível. Portanto, o estudo do balanço de radiação (tanto diário quanto em todo ciclo da cultura) é de fundamental importância para determinação das tomadas de decisão em todas as fases da produção vegetal.

O milho é um vegetal de fundamental importância econômica no cenário mundial (sendo cultivado em quase todos os países), devido a sua utilização para alimentação humana e principalmente como ração animal (que é o destino de cerca de 70% da produção). Assim como a maioria das culturas agrícolas o cultivo desse cereal requer a interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos envolvidos com ao seu desenvolvimento, para maximizar a produção. A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel, eficiência metabólica e a capacidade da planta na transformação dessa energia em grão é fator decisivo na cadeia produtiva.

Contabilizar os vários componentes de radiação sobre o desenvolvimento do milho e sob diferentes manejos serve para enriquecer o conhecimento das práticas agrícolas, visando a otimização na produtividade. As medidas de certos componentes de radiação são de difícil obtenção, tanto pelos instrumentos que mede (ter um custo elevado), quanto pela sua baixa precisão. Assim, é muito importante a estimativa dessa radiação em função de outras medidas. Há também necessidade de estimar alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho em função de variáveis mais simples.

O objetivo geral deste trabalho é propor a determinação do balanço de radiação em cultivos de milho na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, cujos componentes são

obtidos mediante dados medidos através de equipamento instalados no campo experimental, para se estabelecer as relações entre os componentes do balanço e variáveis de crescimento do milho.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar os balanços de radiação solar nas fases fenológicas do milho;
- Estimativa de componentes de radiação solar;
- Obter relações entre componentes de radiações e variáveis de crescimento do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A agricultura interage com o meio ambiente e nessa interação os elementos meteorológicos são de fundamental importância, onde influenciam positivamente ou negativamente desde o plantio, passando pelas fases de desenvolvimento até a colheita. Assim a maioria da produtividade agrícola de qualquer região dependerá das interações entre as variáveis meteorológicas, crescimento, desenvolvimento e manejo dos cultivos agrícolas (Semann et. al., 1979).

2.1 Crescimento e desenvolvimento do milho

O milho, assim como a maioria das espécies cultivadas, depende da interação de um conjunto de fatores edafoclimáticos que favoreçam ao seu crescimento, desenvolvimento e sua produtividade. Portanto, um solo fértil teria pouco ou quase nenhum significado para a cultura se estivesse submetido a condições climáticas adversas. A temperatura é um elemento meteorológico importante para as exigências fisiológicas da planta, porque cada vegetal há uma faixa de temperatura onde seu desenvolvimento e crescimento não são afetados, não havendo garantias para temperaturas fora dessa faixa (Ometto, 1981). A faixa de temperatura para que haja um bom desenvolvimento do milho, principalmente na fase vegetativa (da emergência até a floração) está compreendida entre 24 e 30 °C no período diurno, mas durante a noite é importante que as temperaturas sejam mais frias, porque nesse período ocorre o crescimento das plantas. Temperatura mais quente nesse momento acelera os demais ciclos da cultura, fazendo com que não tenha um desenvolvimento pleno (Cruz et. al., 1997).

Experiências com diferentes épocas do plantio de milho mostram que o período com temperaturas mais baixas (15,8 a 20,9 °C) principalmente nas fases vegetativa do milho, reduz significativamente o uso eficiente da radiação (UER). Enquanto que nas épocas de temperaturas elevadas, há uma relação melhor entre o UER e as temperaturas médias,

proporcionando uma eficiência que varia de 2,27 a 3,17 g de matéria seca por MJ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (Andrade et. Al, 1993).

Um outro fator que também é determinante na produção de milho é a temperatura interna da espiga do milho que pode ser afetada pelas características térmicas (difusividade e condutividade) das diferentes partes da espigas. No qual é responsável pelo maior tempo de resposta da temperatura interna em relação à temperatura do ar. Essas temperaturas podem ser calculadas por um modelo bidimensional desenvolvido por Khabba et. al. (1999) onde a espiga do milho é considerada como sendo um cilindro constando de três camadas centralizada (sabugo, grão e palha) e a diferença média entre a temperatura observada e a calculada é de aproximadamente de 0,4 °C, enquanto que se consideramos a espiga do milho como sendo uma simples camada cilíndrica essa diferença passa para aproximadamente 1 °C.

Estudo sobre aumento de radiação solar interceptada nos consórcios de milho e feijão de corda, mostra que há uma prioridade no enchimento do grão de milho aumentando a produção de biomassa. Quanto ao uso eficiente da radiação entre o consócio milho e feijão de corda com o plantio único de milho, há uma pequena vantagem no rendimento para o experimento consociado (watiki et. Al., 1993).

Em climas temperado e frio os rendimentos potenciais do grão de milho são variáveis e frequentemente pequenos. A temperatura baixa prolonga a duração do crescimento e reduz a taxa de crescimento do plantio, com o aumento do risco de geada os grãos se enchem prematuramente (Wilson et. Al., 1995).

O crescimento do milho em algumas regiões do planeta é limitado, devido às características agrônômicas dos cultivares, que não estão adaptados às variáveis ambientais do local (Bavec e Bavec, 2002). O aumento do número de plantas por unidade de área (densidade) afeta significativamente o peso de 1000 sementes, o comprimento da espiga, o número de linhas com sementes e o número de semente por linhas. Portanto, a informação da densidade apropriada para cada cultivar de milho é o fator principal para o planejamento da produção de milho.

O índice de área foliar (IAF) é definido como sendo a razão entre a área total foliar que realiza fotossíntese e a área do terreno ocupada pela cultura. Desse modo o IAF depende basicamente da variedade da planta, da fertilidade do solo, das condições climáticas da região e do tipo de manejo da cultura. O IAF é uma das principais variáveis de crescimento do dossel de um plantio, estando diretamente relacionado com sua evapotranspiração e sua produtividade. Esse índice será máximo, aproximadamente aos 52 dias após a emergência em cultivos com alto nível tecnológico e com boas condições de umidade (exemplo: plantio

irrigado) que não sofra nenhum tipo de stress (déficit ou excesso hídrico). Aos 52 dias após esse período o IAF começa a diminuir, devido a senescência e queda das folhas mais velhas. (Teodoro, 2003).

A fotossíntese que a planta realiza vai depender da quantidade de área foliar (com máxima eficiência na captura de luz) e da duração das folhas em plena atividade. Geralmente o índice área foliar aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, sobretudo, em função da senescência e queda das folhas mais velhas. A produtividade da cultura do milho será maior quando o IAF máximo for atingido rapidamente e quanto mais tempo permanecer em atividade.

O conhecimento do índice de área foliar nos cultivos de milho é de vital importância para se estabelecer a eficiência da cultura no campo. Sabendo assim, tendo um aproveitamento máximo da energia radiante. Os métodos mais comuns utilizados para a obtenção do IAF dão muito trabalho e desperdiçam muito tempo, além de ocasionar a destruição das plantas. Alguns pesquisadores desenvolveram uma relação do IAF com variáveis de crescimento (mais fáceis de serem medidas), principalmente em função da altura da planta. Segundo Ross et. al. (2004) esses métodos proporcionam um erro em torno de 10 a 15%.

2.2 – Balanço de radiação em cultivos de milho

O saldo de radiação de ondas curtas ou de ondas longas é definido como sendo a diferença entre a energia radiante absorvida e a emitida pela superfície, considerando a radiação solar e a radiação infravermelha na superfície da terra. O saldo de radiação (R_n) na superfície da terra consiste da radiação solar difusa e direta e também da emissão de ondas longas (radiação atmosférica que chega a superfície) absorvida e emitidas pela superfície. O estudo do saldo de radiação na superfície é importante porque o balanço de radiação é visto como o principal determinante do clima (Kondratyev, 1969). O saldo total de radiação é a energia disponível na superfície da terra para ser utilizado pelos processos de: evaporação, aquecimento do ar e do solo, bem como outros processos de consumo muito pequeno como o de fotossíntese (Rosemberg, 1983; Souza, 1996). A extinção da radiação no meio ambiente acontece quando o meio não é homogêneo (contendo principalmente gotas de água, partículas de poeira e etc.). A nuvem é um dos principais fatores de extinção de luz, devido ao fato de que contém partículas de aerossóis, vapores de água, gotículas de água, e etc.

A radiação global é o elemento essencial para fotossíntese e evapotranspiração, em consequência disso, é utilizada como parâmetro em vários modelos agro-ecológico. Como as medidas de radiação apresentam na maioria das vezes, falha dentro das séries de dados, principalmente as series longa, há uma necessidade de estimar essa radiação (Thorsten Pohlert, 2004), os modelos que utilizam as equações de Angston, the Bristow and campell podem ser aplicados tanto para série de radiação global incompleta, quanto para simulação de crescimento e desenvolvimento do milho com o modelo WOFOST para locais temperados. Com tudo esses modelos não podem ser utilizados em locais tropicais.

Os valores de radiação solar global influenciam os valores da produtividade da cultura do milho (dados simulados pelo modelo CERES – MAIZE) na maior ou menor produtividade. Entretanto, a diferença de quantidade de radiação na fase reprodutiva da planta (que vai do período de florescimento até a maturidade fisiológica) é determinante para que haja essas diferenças de produtividade. Uma maior quantidade de energia solar incidente, produz uma maior acúmulo de matéria seca. A distribuição da radiação solar ao longo do plantio de milho pode até influenciar no ciclo da cultura (Freitas et. al., 2001).

A radiação solar global pode ser calculada através de equações empíricas partindo de uma simples formula de regressão linear de Angstron. A ajuda de programas de computador é muito útil na providencia imediata dos valores exatos para os componentes de radiação. O erro percentual relativo entre os valores calculado e os dados meteorológicos encontrado na Síria foi numa faixa de 3% no pior caso que foi no inverno (Ali-mohamad, 2004). As correlações entre os valores experimentais e os valores de modelos de radiação global que utiliza o índice de claridade em Atenas são excelentes (Poliatsor et. al., 2003). Os modelos baseados em equações polinomiais de terceira ordem são os que têm melhor desempenho dentre as equações que estimam a radiação solar (Almorox e Hontoria, 2004), mas, o modelo linear é o mais utilizado, devido a sua maior simplicidade e maior aplicabilidade, e tendo também uma pequena diferença dos modelos de terceira ordem.

O modelo teórico e bidimensional que descreve a transferência de radiação solar em um plantio em fileira, utilizando a radiação global acima do dossel e a arquitetura do dossel das plantas como variável de entrada é utilizada para prevê a distribuição espacial e temporal da radiação, os componentes de extinção da radiação global, onda curta e PAR dentro do plantio. (Yang et al., 1990). Esse modelo também pode ser utilizado para dar suporte aos modelos de microclima de plantio, pois, ele detalha os processos de transporte dirigido pela radiação solar ou PAR. O modelo também simula resultados em dias limpos e nublados, no

qual mostra que a radiação solar e a PAR são atenuadas rapidamente assim que penetra no dossel do plantio.

A arquitetura do dossel de uma plantação influencia muito na captura e penetração da luz (Arthur Sampson e Smith, 1993). A ordem de maior influência das características da arquitetura do dossel que influencia na penetração da luz é: (1) IAF, (2) quantidade e arrumação das folhas (3) a inclinação angular média das folhas (4) a distribuição vertical das folhas. E ainda o aumento do IAF e o aumento da folhagem na copa reduzem a eficiência de captura de luz.

A radiação fotossinteticamente ativa é definida como sendo a radiação na faixa do comprimento de onda que vai de 0,4 a 0,7 μm , no qual é utilizada pelas plantas para fazerem fotossíntese. As nuvens são as grandes reguladoras do fluxo radiativo que chega a superfície da terra. A quantidade e o tipo de cobertura de nuvens prevalecem para o diagnóstico do tempo (Alados et. al., 2000). O conhecimento da PAR é necessário para diferentes aplicações, mas devido à ausência, em algumas regiões, das medidas desse fluxo ela pode ser estimada por variáveis disponíveis. A produção do acúmulo de massa seca depende da eficiência de conversão da PAR interceptada, no qual varia de acordo com o ambiente. A análise da relação entre a matéria seca acumulada e a PAR interceptada para diferentes plantas, mostra que a cultura do milho é superior a cultura do sorgo na conversão da radiação PAR em matéria seca acumulada (Sivakumar e Viramami, 1984). Híbridos de milho com folhas maiores ou horizontais têm um maior valor de coeficiente atenuação (k) do que os híbridos com folhas menores ou mais eretas (Maddoni e Otegui, 1996). A diferença na relação da PAR interceptada com o índice de área foliar (IPAR/IAF) de um plantio de milho é mais drástica após o IAF máximo encontrado. A máxima interceptação de luz é alcançada com o IAF igual a quatro. Entre as leguminosas, a soja é a que mais intercepta a radiação (Pengelly et. al., 1999) devido, principalmente, ao grande índice área foliar. O balanço de radiação sobre plantações de milho mostra que a média diária da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo plantio é menos de 30% (Begué et al, 1996).

O consórcio, principalmente entre cereais e leguminosas tem um papel importante na subsistência e produção de alimentos em países em desenvolvimento. Esse tipo de consórcio é tradicionalmente praticado em pequena escala por fazendeiros (Tsubo e Walker, 2002). Em um consórcio de milho e feijão, não há diferença no uso eficiente da radiação entre o milho consorciado e o não consorciado, no entanto, há uma grande vantagem no rendimento do feijão consorciado, devido a um maior uso eficiente da radiação do que no feijão não consorciado.

Uma parte da radiação que atinge a atmosfera e a terra é refletida novamente para o espaço. O grau de reflexão é uma função do comprimento de onda desta faixa. O termo albedo é usado para descrever a reflexão da radiação solar (0,3 – 4,0 μm) independentemente do comprimento de onda ou as vezes para descrever somente a reflexão da parte visível (0,4 – 0,7 μm).

Anualmente o albedo aumenta de 22 (a 212 m de altitude) para 36% (a 1489 m de altitude). A eficiência da radiação (capacidade de transformação da radiação solar global em saldo de radiação) nos locais menos elevados é aproximadamente 1,3 vezes maior do que os locais mais elevados, segundo Iziomonm and Mayer (2002).

Os albedos medidos durante o período da tarde, apresentam valores superiores aos observados pela manhã para um mesmo ângulo de elevação solar. Segundo Mario de Miranda (2002) essa situação pode estar associada tanto a redução do teor de umidade nas folhas, que contribui para diminuição da absorção de radiação pela superfície foliar, como a redução da radiação direta em consequência do aumento de nebulosidade. O albedo de uma superfície vegetada é mais ou menos determinado pela refletividade dos principais componentes de radiação na superfície foliar. O ciclo diurno do albedo está associado com a variação na elevação solar enquanto que o ciclo anual está associado com as mudanças sazonais. Para um ângulo solar elevado, a luz pode penetrar mais profundamente dentro do dossel do plantio (Giambelluca et. al., 1999).

3. - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Características da área do plantio

A análise radiativa sobre a cultura do milho foi realizada utilizando observações de dois experimentos agrometeorológicos de sequeiro (ano 2000 e ano 2001) e um irrigado (ano 2002), realizados na área experimental de Agrometeorologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA), Campus Delza Gitaí, Rio Largo, (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m), região de Tabuleiro Costeiro, através dos trabalhos coordenados pelo Grupo de Agrometeorologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Alagoas–UFAL. A caracterização radiativa deu-se através da análise da variação dos componentes da radiação solar, radiação atmosférica e de superfície, inter-relacionada com variáveis de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho.

Os plantios foram realizados com o milho da variedade, BR 106, numa densidade de 40.000 plantas.ha⁻¹ para os cultivos de 2000 e 2001, no qual foram realizados nos períodos de 28 de abril a 11 de agosto e 4 de junho a 28 de setembro respectivamente. Uma densidade de 70.000 plantas.ha⁻¹ para o cultivo de 2002, no qual foi realizado no período de 1º de janeiro a 22 de abril.

3.2 Análise de crescimento e desenvolvimento do plantio

As observações referentes à fenologia do milho seguiram uma escala fenológica previamente definida para a cultura: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7), conforme adaptação feita por Teodoro (2003), baseada no trabalho de Hanway (1963). Eram selecionadas semanalmente dez plantas, de forma aleatória e eram medidas do colo da raiz até a altura máxima da planta, sendo que na fase após a emissão do pendão, eram medidas até a base do pendão. Essas medidas serviram para determinar a altura média das plantas.



Figura 1 – Fotografia do cultivo de milho e a estação agrometeorológica na área experimental do CECA.

Para determinar o índice de área foliar (IAF), foram colhidas aleatoriamente dez plantas semanalmente. Para encontrar a área de cada folha, multiplicou-se sua maior largura pelo seu maior comprimento e em seguida multiplicou-se essa área por 0,75. Depois se somou toda a área das folhas de cada planta. No final fez-se uma média da dez plantas e multiplicou essa média pela densidade populacional de cada plantio, o resultado é equivalente ao IAF.

3.3 Observações meteorológicas

As medidas da radiação: solar global, solar refletida e saldo de radiação foram obtidos por um saldo radiômetro automático da KIPP & ZONEN, CNR1, série 990170, e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida com um sensor quantum da LI-COR. Todos localizados no centro da área dos cultivos ligados a um sistema automático de aquisição de dados, 21XL, da Campbell Scientific, com medidas de cinco segundos e médios de cinco minutos, durante todo o ciclo da cultura.



Figura 2 Fotografia do Dataloger (sistema automático de aquisição de dados)

A medida da radiação solar global feita na superfície em baixo do dossel do plantio foi obtida utilizando dois piranômetro KIPP & ZONEN, modelo CM5.

O coeficiente de extinção atmosférico (k_t) foi definido como sendo a razão entre a radiação solar global (medida na superfície) e a quantidade de energia da radiação solar que chega no topo da atmosfera.

O coeficiente de extinção de luz (K) foi definido como sendo a porcentagem da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que foi absorvida pelo dossel do plantio do milho. Para a obtenção do K foi utilizado o seguinte calculo: $(PAR_i - PAR_s)/PAR_i$.

Onde:

PAR_i é a radiação fotossinteticamente ativa incidente no dossel e PAR_s é a PAR medida ou estimada na superfície em baixo da plantação.

A eficiência da radiação (Re) foi definida como sendo a razão entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global (R_g), este coeficiente mostra a eficiência da radiação solar global em se converter em uma energia disponível na superfície.



Figura 3 Fotografia do saldo radiômetro

O índice de disponibilidade de ondas curtas ($1 - r$) é o coeficiente da radiação, ou seja, a porcentagem da radiação que chega a superfície e está disponível na forma de ondas curtas.

O albedo médio horário foi calculado a partir da divisão entre a soma horária de toda radiação refletida a partir das 6 hs até as 17 hs e a soma horária de toda radiação global, em seguida fez-se a média diária para cada fase fenológica.

3.4 Estimativas de radiação fotossinteticamente ativa

Para os anos de 2000 e 2001 a radiação PAR na superfície do solo em baixo das plantas foi estimada pela seguinte equação:

$$PAR_s = -0,20892 + 0,42613Rg_s \quad (1)$$

Onde PAR_s é a radiação fotossinteticamente ativa na superfície do solo e Rg_s é a radiação global medida na superfície do solo em baixo das plantas, correspondendo a média de duas

medições, ou seja, medidas na linha e na entrelinha das plantas, considerando a mesma relação entre PAR incidente e R_g incidente obtida no experimento do ano de 2000.



Figura 4 Fotografia do piranômetro instalado abaixo do dossel do plantio



Figura 5 Fotografia do PAR radiômetro instalado abaixo do dossel do plantio

No ano de 2002 a radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) foi estimada por uma equação semelhante

$$PAR_i = -0,20892 + 0,42613R_g \quad (2)$$

Onde PAR_i é a radiação fotossinteticamente ativa incidente na superfície do dossel e R_g é a radiação global medida acima do dossel e a PAR transmitida foi medida com um sensor Quantum.

3.5 – Equações utilizadas na construção dos gráficos

As equações que melhor se ajustaram para construção dos gráficos que representam os fenômenos biológicos são:

a) Gaussian com a seguinte equação:

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{\frac{-2(x-x_0)^2}{w^2}}$$

onde y_0 é o ponto onde a curva toca o eixo dos y, A é o total da área sob a curva, x_0 é o ponto do eixo dos x onde y é máximo, w é aproximadamente 0,849 da largura da meia altura do pico mais alto.

b) Sigmoidal ou equação de Boltzmann

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2$$

onde x_0 é o centro, A_1 é o valor inicial do y, A_2 é o valor final do y e dx é a faixa do eixo do x onde os valores de y mudam drasticamente com a variabilidade de x.

c) Regressão linear representada pela seguinte equação:

$$y = a + bx$$

Onde a é o intercepto y e b = a inclinação da reta

d) Regressão polinomial

$$y = a + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k$$

Onde a é o intercepto y e b_k é o coeficiente da variável x no grau k

3.6 – Análise do comportamento das variáveis

Para a análise do comportamento das variáveis: saldo de radiação (R_n), eficiência da radiação (R_e), índice de disponibilidade de ondas curtas ($1-r$) em função do índice de área foliar (IAF) e também para análise da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) e radiação fotossinteticamente ativa medida na superfície do solo em baixo das plantas (PAR_s) foi selecionado em cada fase fenológica três dias com k_t (R_g/R_o) (Iqbal,1983) sendo um dia com k_t menor que 0,4 (dia nublado), um dia com k_t entre 0,4 e 0,6 (dia parcialmente nublado) e um dia com k_t acima de 0,6 (dia com pouca nebulosidade).

4. – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características culturais

4.1.1 Altura da planta em função dos dias após a emergência

As Figuras 6 e 7 mostram a variação da altura da planta em função dos dias após a emergência para os anos de 2000 e 2001, respectivamente. Nota-se que as plantas têm um pouco uso dos recursos ambientais, no início do plantio, o que é visto (Figura 6) a partir dos 19 dias após a emergência (DAE) até aproximadamente aos 40 DAE. Após esse período, há um crescimento muito rápido das plantas devido a uma interação mais acentuada com os recursos do meio ambiente (período esse que se estende de 40 DAE até 60 DAE), logo após esse período observa-se uma estabilização do crescimento, no qual os nutrientes do solo e a energia ambiental são mais direcionados para processos reprodutivos, não mostrando mais diferenciação nas variáveis de crescimento.

Uma equação que relaciona o crescimento da cultura do milho em relação ao tempo foi feito, no qual obteve uma boa correlação ($R^2 = 0,99$) para o ano de 2000, utilizando um modelo sigmoidal, com um intervalo de 19 DAE a 100 DAE. Aspectos semelhantes foram mostrados no experimento realizado em 2001 (Figura 7).

4.1.2 - Índice de área foliar em função da altura da planta

A variação do índice de área foliar (IAF) em função da altura da planta para os cultivos realizados nos anos de 2000 e 2001 são mostrados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Observa-se que o aumento do índice de área foliar segue um modelo exponencial, à medida que aumenta, também aumenta a área de captação de radiação por parte das plantas. O máximo de IAF condiciona a planta a captar a máxima quantidade de energia para fotossíntese e o aumento de acúmulo de matéria seca. A partir da altura da planta de 140 cm

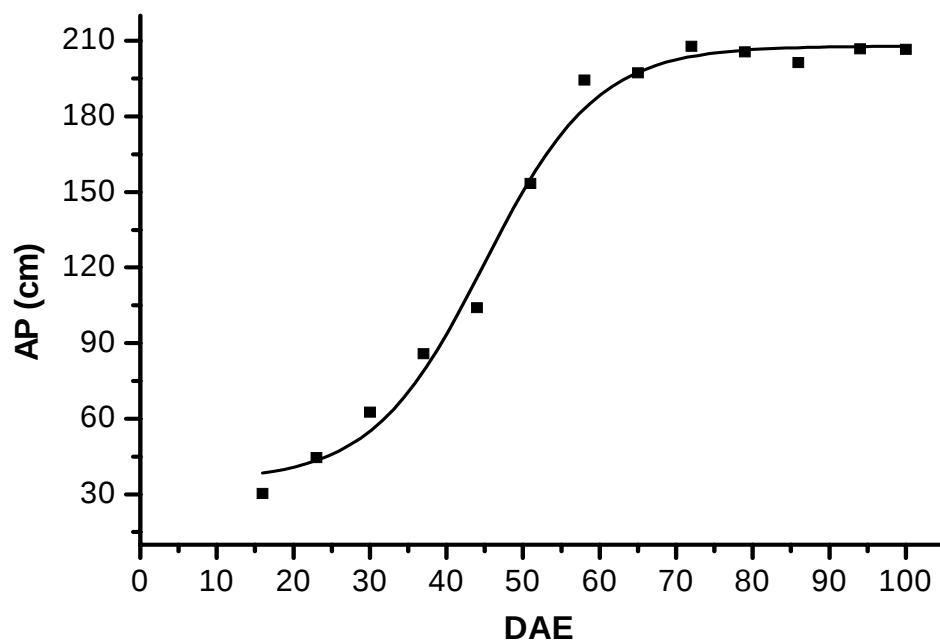


Figura 6. Variação da altura da planta (AP) em função dos dias após a emergência (DAE) no ano 2000.

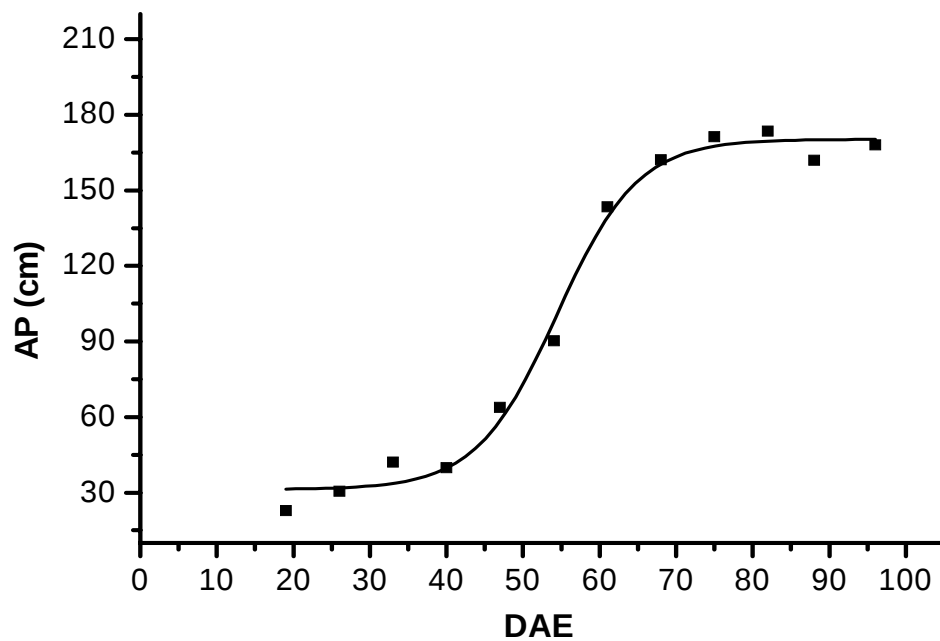


Figura 7. Variação da altura da planta (AP) em função dos dias após a emergência (DAE) no ano 2001

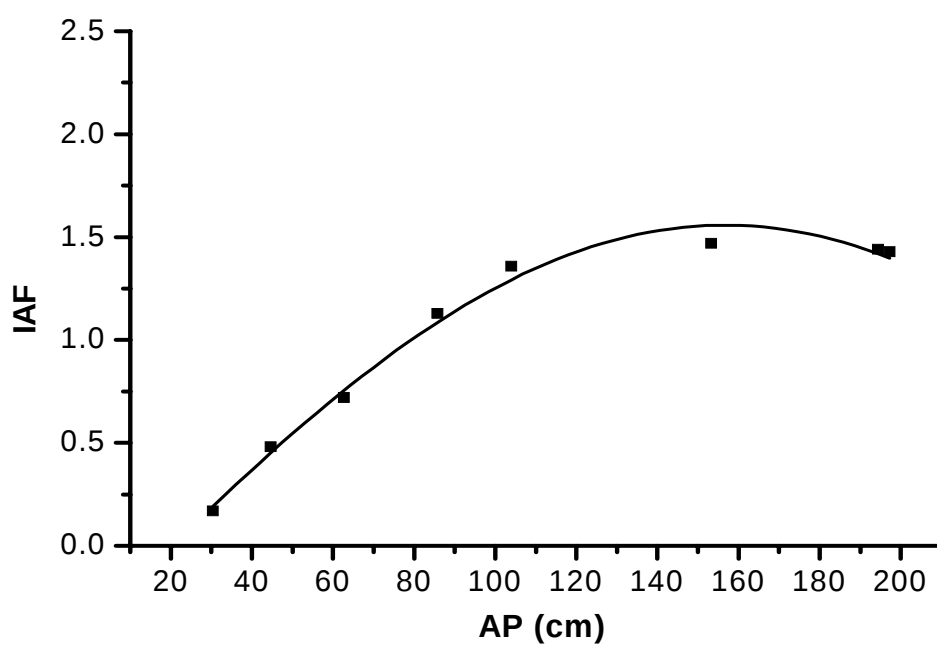


Figura 8. Variação do índice de área foliar (IAF) em função da altura da planta (AP) no ano de 2000

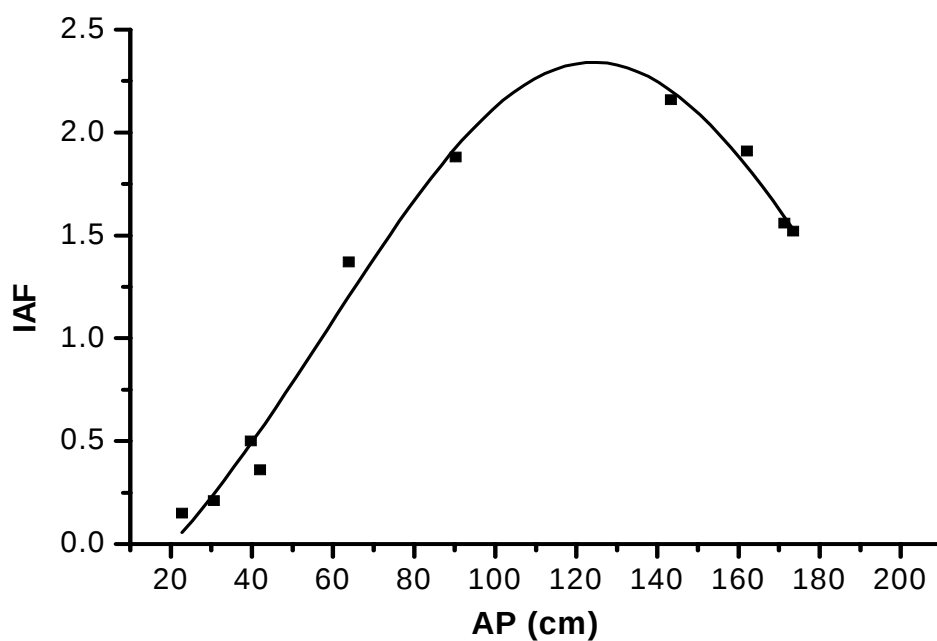


Figura 9. Variação do índice de área foliar (IAF) em função da altura da planta (AP) no ano 2001.

(Figura 8) a planta continua a crescer, mas seu IAF diminui, devido ao início da fase de senescência das folhas (folhas amarelas e secas). Comportamento semelhante acontece também no ano de 2001 (Figura 9), onde a planta diminui sua captação de energia a partir de uma altura de 120 cm. A equação que melhor representa a relação do IAF em função da altura da planta (Tabela 1) foi construída baseada numa função exponencial do tipo gaussiana, utilizando uma altura inicial de 30 cm e 20 cm e uma altura final de 190 cm e 170 cm, para os anos de 2000 e 2001, respectivamente.

4.1.3 Índice de área foliar em função dos dias após a emergência

As Figuras 10, 11 e 12 mostram a variação do IAF em função dos dias após a emergência, para os anos de 2000, 2001 e 2002 respectivamente. Nota-se um comportamento diferente para os três cultivos, devido aos diferentes tipos de manejo (sequeiro com controle de ervas daninhas, sequeiro com pouco controle de ervas daninhas e irrigado), com maneiras diferentes de tratos culturais utilizados, proporcionou uma taxa diferenciada de crescimento das plantas durante a fase vegetativa. O índice de área foliar atingiu o máximo, próximo dos 60 DAE nos três cultivos. No ano de 2000 (Figura 10) foi encontrado um menor IAF, devido principalmente a um maior espaçamento entre as linhas do plantio. No ano 2002 (Figura 12) o plantio obteve um maior índice de área foliar, devido aos fatores: um maior número de plantas por metro quadrado, cultivo irrigado com controle de ervas daninhas defensivos agrícolas para controles de pragas. O plantio foi desenvolvido sob boas condições de umidade, não sofrendo qualquer tipo de stress. Tendo um bom desenvolvimento nas fases fenológicas favorecendo uma alta produtividade em relação aos outros cultivos. Devido à diferenciação do IAF nos três cultivos, as equações que melhor representam os três anos (Tabela 1) foram do tipo polinomial, mas com diferentes graus. Com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,94, o que indica boa estimativa do IAF em função do DAE.

4.2 – Estimativas de Radiação

4.2.1 – Radiação fotossinteticamente ativa e saldo de radiação em função da radiação global

O fato de as componentes de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e o saldo de radiação (Rn) não serem de medição rotineira, conduz a procura de relação que leva a

Tabela 1. Regressão obtida nas características culturais, para o plantio de milho nos anos de 2000, 2001 e 2002.

Regressão	Ano	Equação	R ²
AP x DAE	2000	$AP = \frac{35,19287 - 207,90967}{1 + e^{(DAE - 44,93822) / 7,30738}} + 207,90967$	0,99
AP x DAE	2001	$AP = \frac{31,23978 - 170,23571}{1 + e^{(DAE - 54,43652) / 5,27472}} + 170,23571$	0,99
IAF x AP	2000	$IAF = -4,00785 + 4,44097 \times e^{\frac{-2(AP - 156,54436)^2}{(336,14573)^2}}$	0,99
IAF x AP	2001	$IAF = -0,89456 + 2,58200 \times e^{\frac{-2(AP - 124,21881)^2}{(129,53144)^2}}$	0,98
IAF x DAE	2000	$IAF = -1,16912 + 0,09153DAE - 7,9686 \times 10^{-4}(DAE)^2$	0,94
IAF x DAE	2001	$IAF = -1,75365 + 0,41138DAE - 0,03045(DAE)^2 + 9,9603 \times 10^{-4}(DAE)^3 - 1,51358 \times 10^{-5}(DAE)^4 + 1,06684 \times 10^{-7}(DAE)^5 - 2,83799 \times 10^{-10}(DAE)^6$	0,96
IAF x DAE	2002	$IAF = 15,55433 - 1,93192(DAE) + 0,08269(DAE)^2 - 0,00146(DAE)^3 + 1,4567 \times 10^{-5}(DAE)^4 - 3,33249(DAE)^5$	0,99

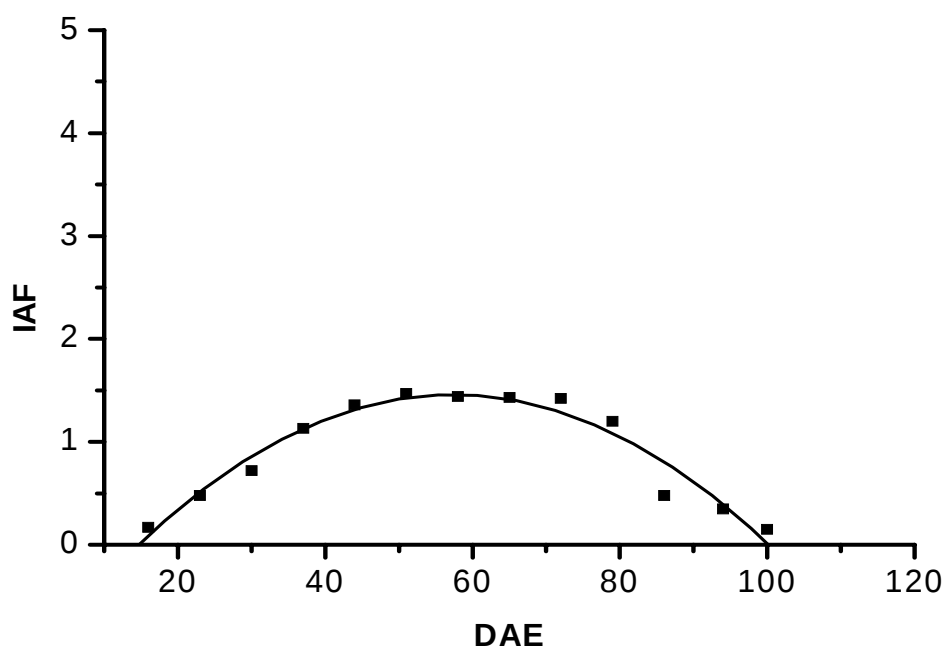


Figura 10. Variação do índice de área foliar (IAF) em função dos dias após a emergência (DAE) no ano 2000.

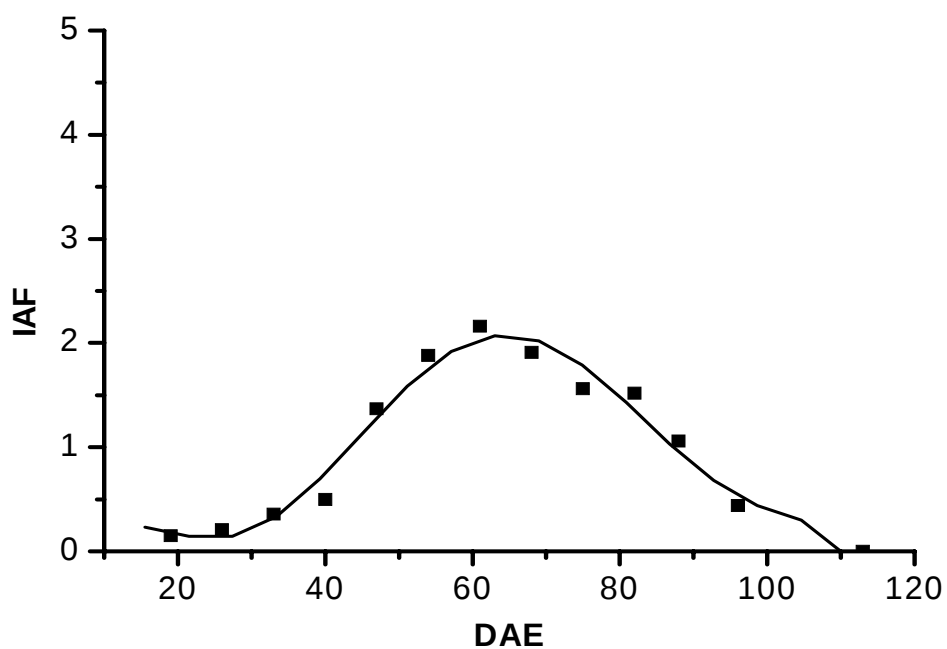


Figura 11. Variação do índice de área foliar (IAF) em função dos dias após a emergência (DAE) no ano 2001

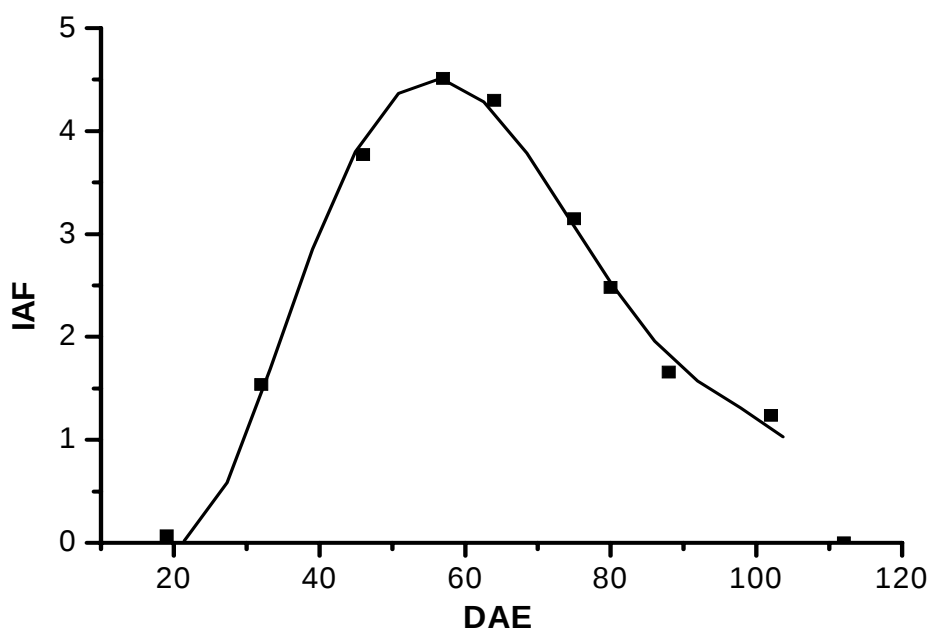


Figura 12. Variação do índice de área foliar (IAF) em função dos dias após a emergência (DAE) no ano 2002

estimativa dessas componentes em função de variáveis de radiação mais comumente medidas, como é o caso da radiação global (R_g). Além disso, os equipamentos de medidas da PAR e R_n são menos robustos, sendo mais utilizados em pesquisas. Isso induz a obter-se estimativas de PAR e R_n em função da R_g nos três experimentos, conforme são mostrados nas Figuras 13, 14, 15 e 16. Como PAR e R_g são de conotação dependente das condições atmosféricas, fez-se as estimativas com dados dos três experimentos (Figura 13).

O saldo de radiação é uma interação das condições atmosféricas e da superfície radiativa dos cultivos, indicando três tipos de estimativas (Figuras 14, 15 e 16) visto que, os três cultivos tiveram manejos diferentes. Como o PAR é uma parte da R_g o intercepto da reta ($a = -0,20892$) não se aplica quando R_g for nulo, neste caso desprezando a , a PAR seria em torno de 43% da radiação global. A equação que melhor ajusta essa curva é mostrada na Tabela 2.

Para melhor relacionar o saldo de radiação em função da radiação global foi utilizada uma análise de regressão linear simples nos três experimentos, no qual obteve boa estimativa ($R^2 = 0,97$) para os anos de 2000 e 2001 e coeficiente de determinação de 0,98 para o ano de 2002. As equações que melhor ajustam as curvas são mostradas na Tabela 2. As inclinações dessas retas foram um pouco diferentes, isso foi devido, principalmente as condições diferentes dos tratos culturais nos três experimentos, que diferenciou um pouco a cobertura

vegetativa do solo (influenciada pelo índice de área foliar diferenciado). Modificando a energia disponível no dossel do plantio.

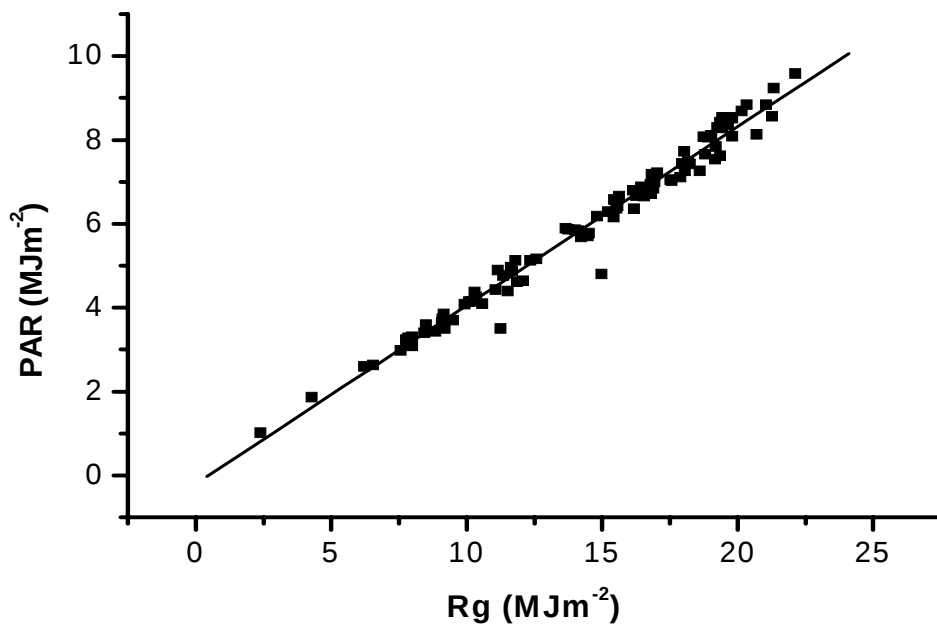


Figura 13. Variação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em função da radiação global (R_g).

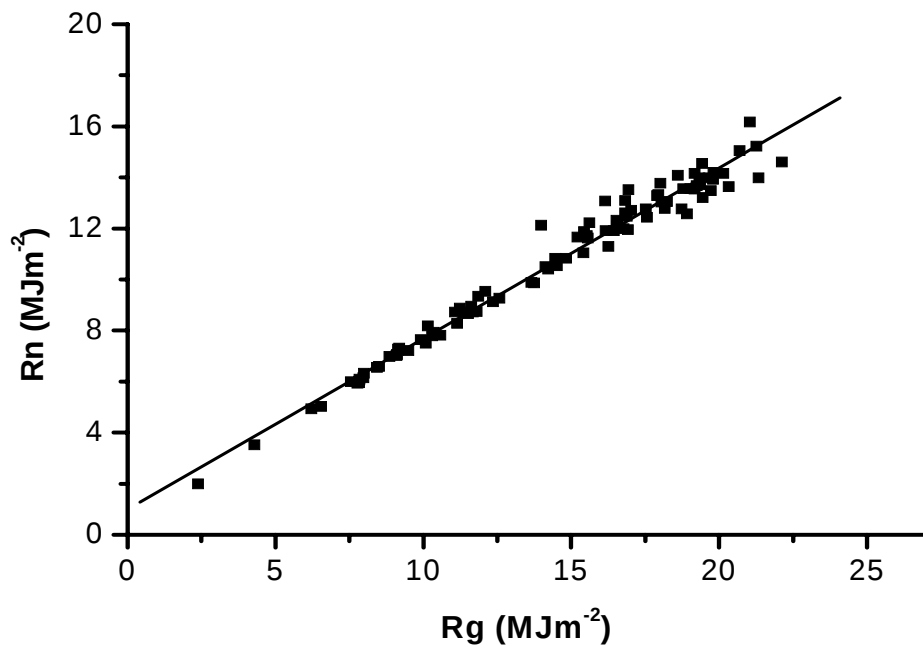


Figura 14. Variação do saldo de radiação (R_n) em função da radiação global (R_g) para o ano de 2000.

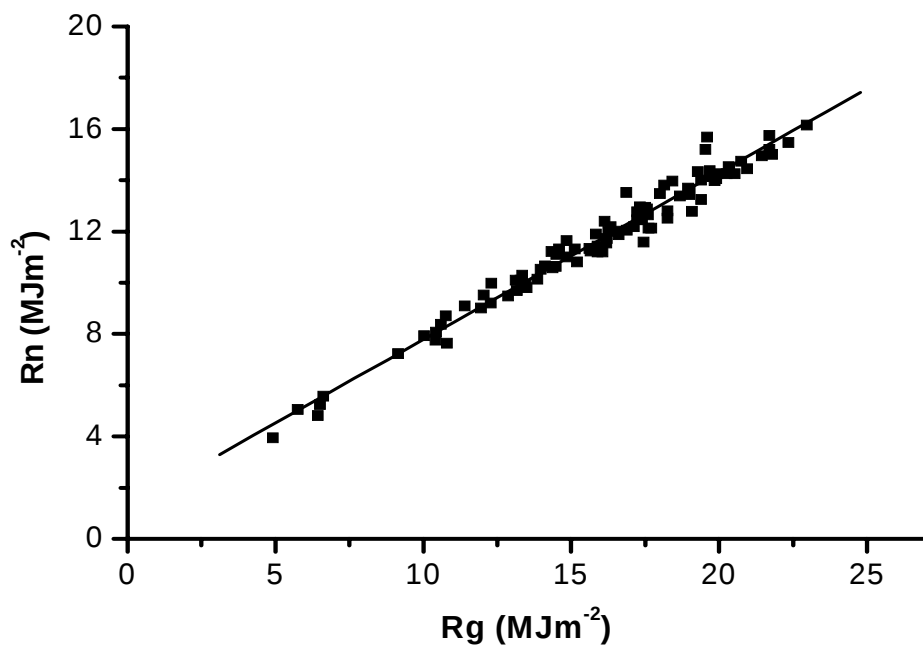


Figura 15. Variação do saldo de radiação (R_n) em função da radiação global (R_g) no ano de 2001.

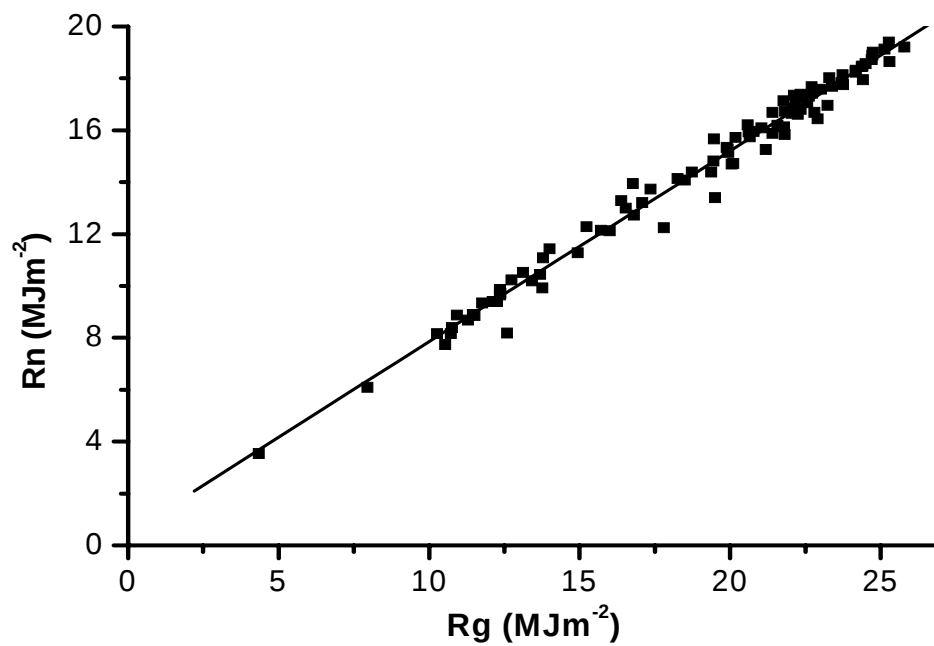


Figura 16. Variação do saldo de radiação (R_n) em função da radiação global (R_g) em 2002.

Fazendo uma média entre os cultivos de 2000 e 2002, obteve-se uma equação que melhor representa à média dos cultivos de milho ($R_n = 0,7381 + 0,70027R_g$). O ano de 2001 não entrou nessa média, devido a não eliminação das ervas daninhas, representando uma característica radiativa da vegetação composta por milho e ervas daninhas.

4.2.2 – Radiação global abaixo do dossel em função de R_g e IAF

A transmitância da radiação global do cultivo de milho teve variações diferentes, nos três experimentos, devidos principalmente ao manejo diferenciado, no qual proporcionou diferentes índices de área foliar (IAF). No experimento realizado no ano de 2000 (Figura 17), no início do plantio, notou-se que a transmitância foi próximo de 1,0, devido ao baixo IAF nesse período, fato esse que se deve ao espaçamento entre as linhas do cultivo aliado ao excesso hídrico nesse período causada por precipitação pluvial (202 mm) elevada. O IAF acima de 0,8 mostrou uma queda brusca na transmitância, o que evidencia um crescimento acelerado a partir de então, e no período anterior o crescimento da plantas foi pequeno. O índice de área foliar máximo (1,45) mostrou que aproximadamente 50% da radiação global que chega acima do dossel do plantio de milho é transmitida a superfície.

Pouco controle das ervas daninhas no experimento de 2001 (limpa entre o plantio e a emergência) causou uma maior competição dos recursos naturais do solo por parte das plantas invasoras com a cultura do milho, fato esse que influenciou diretamente no IAF. As características radiativas desse experimento (Figura 18) são múltiplas entre as plantas de milho e as ervas daninhas, mesmo assim o IAF foi superior ao do encontrado no experimento de 2000, devido principalmente ao menor espaçamento (0,8m) entre as linhas.

No experimento realizado no ano de 2002 (Figura 19) mostrou que no início do plantio do milho houve um rápido decréscimo da transmitância da radiação global, fato esse devido principalmente ao crescimento acelerado das plantas que foram favorecidas pelas boas condições de umidade (experimento irrigado, onde a água foi controlada não havendo deficiência e nem excesso) em que foi submetido o plantio, aliado também com o controle de ervas daninhas, sendo assim, os nutrientes ficou mais disponível para as plantas, visto que não houve deficiência e nem excesso hídrico. Nesse plantio também foram utilizados defensivos agrícolas no controle de pragas, somando todos esses fatores as plantas obtiveram um ótimo desenvolvimento. Acima do índice de área foliar igual 2, a variação na

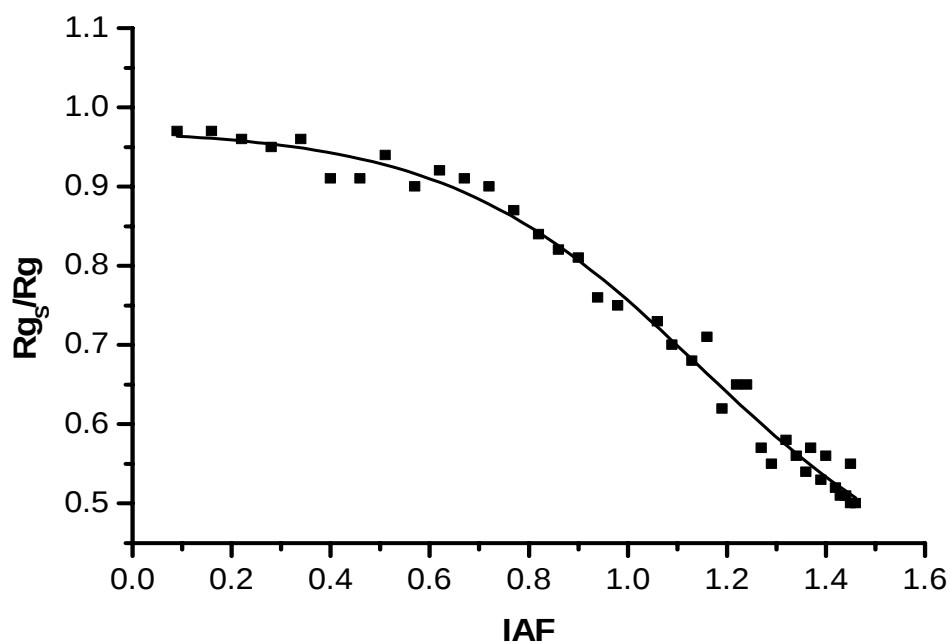


Figura 17. Variação da razão entre a radiação global na superfície (R_g) e a radiação solar no dossel das plantas em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2000.

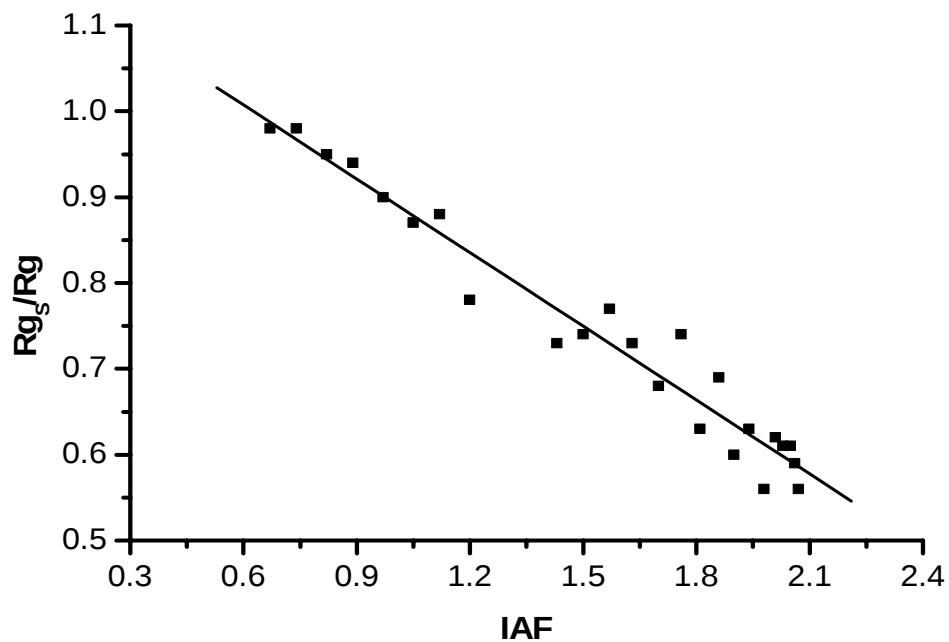


Figura 18. Variação da razão entre a radiação global na superfície (R_g) e a radiação global (R_g) no dossel das plantas em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2001.

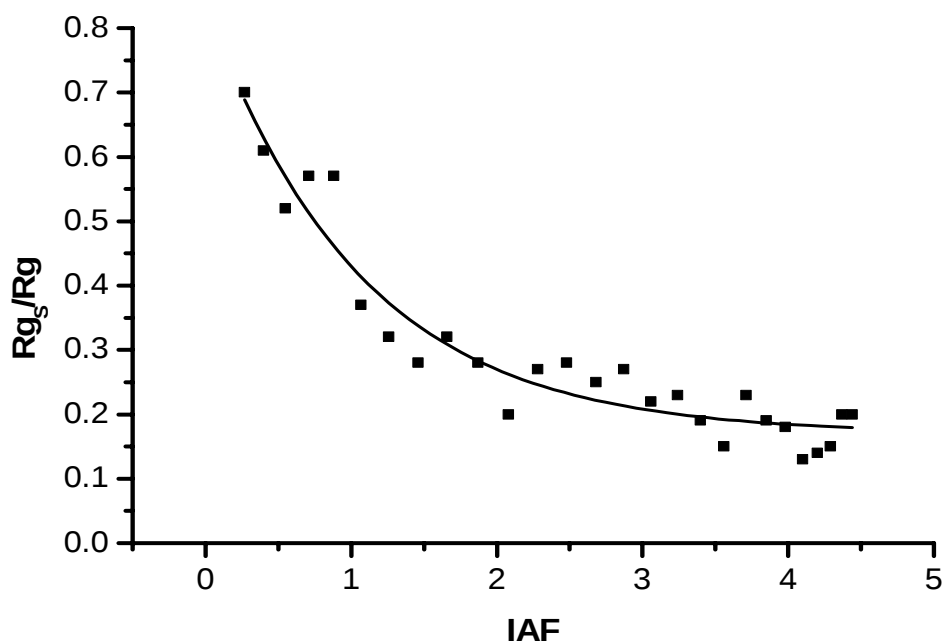


Figura 19. Variação da razão entre a radiação global na superfície (R_{gs}) e a radiação global (R_g) no dossel das plantas em função do índice de área foliar (IAF)) no ano de 2002.

transmitância foi pouca (Figura 19), atingindo o mínimo de aproximadamente 20%, com o índice de área foliar máximo (4,5).

A transmitância da radiação global no plantio do milho para os experimentos realizados nos anos 2000, 2001 e 2002, em função do IAF ficou bem estimada, com coeficientes de determinação acima de 0,93. As equações que melhor ajustam as curvas são mostradas na Tabela 2.

4.2.3 – Saldo de radiação abaixo do dossel em função de R_n e IAF

Em busca de mais uma opção que possa estimar o saldo de radiação abaixo do dossel do plantio de milho, conduz a uma opção de relacionar este saldo de radiação em função do saldo de radiação medido acima do dossel e o índice de área foliar. As Figuras 20, 21 e 22 mostram que na medida em que aumenta o IAF diminui o saldo de radiação na superfície abaixo do dossel, seguindo uma equação linear simples. No experimento de 2000, quando o IAF é máximo, aproximadamente 55% do saldo de radiação que chega ao dossel da plantação de milho é transmitida a superfície, já no experimento de 2001 foi transmitido aproximadamente 65%, apesar do IAF máximo no experimento de 2001 (2,1) ter sido maior

do que o de 2000 (1,45), provavelmente devido ao fato de que o experimento de 2001 esteve repleto de ervas daninhas, o que nos leva acreditar que as plantas invasoras ao cultivo de milho influenciam diretamente no saldo de radiação abaixo do dossel do plantio. As equações que melhor representam as relações entre o saldo de radiação medido na superfície abaixo do dossel do plantio de milho e o saldo de radiação medido acima do dossel e o índice de área foliar, utilizando um modelo linear simples com um bom coeficiente de determinação para o ano de 2000 (0,95) e coeficientes de determinações regulares para os anos de 2001 (0,87) e 2002 (0,79) são mostrados na Tabela 2.

4.2.4 – Radiações abaixo do dossel em função de Rg e IAF para o plantio de 2002

As medidas das radiações na superfície abaixo do dossel do plantio são de difícil acesso, devido a necessidade de se ter vários instrumentos para depois então, fazer uma média nas medidas de radiação, assim é mais viável a obtenção de uma relação que possa estimar essas radiações em função de uma radiação medida acima do dossel, como a radiação solar é uma variável de campo, então acima do dossel só há necessidade de um instrumento de medida. A Figura 23 mostra a relação encontrada do saldo de radiação medido abaixo do dossel e o índice de área foliar, para o experimento de 2002, onde mostrou que no início do plantio de milho houve um rápido decréscimo na porcentagem da radiação global que chega acima do dossel e se transforma em saldo de radiação na superfície. No início do plantio com o IAF de aproximadamente 0,4 a porcentagem foi de aproximadamente 55%. Esse decréscimo se deu até o IAF próximo de 2,0, onde a porcentagem ficou em torno de 20%. A partir daí a variação na porcentagem foi pouca ficando em torno de 15% com o IAF próximo de 4,5. Comportamento semelhante também foi encontrado na relação entre a radiação fotossinteticamente ativa medida abaixo do dossel e a radiação global medida acima do dossel do plantio de milho (Figura 24). Sendo a porcentagem de 30%, 10% e 7%, para o início do plantio, para o IAF próximo de 2 e para o IAF próximo de 4,5, respectivamente. A Figura 25 mostra a porcentagem da PAR que está sendo transmitida a superfície em função do IAF. Com o IAF próximo de 0,4 a transmissão foi de 85%, daí houve um decréscimo rápido até o IAF próximo de 2 onde a transmissão da PAR foi em torno de 30% daí por diante a variação da transmissão foi pouca chegando a um mínimo de 22% para o IAF máximo de 4,5.

Tabela 2. Regressão obtida através das estimativas de radiação, para o plantio de milho nos anos de 2000, 2001 e 2002.

Regressão	Ano	Equação	R ²
PAR x Rg	2000	PAR = -0,209 + 0,426 Rg	0,98
Rn x Rg	2000	Rn = 0,994 + 0,669Rg	0,98
Rn x Rg	2001	Rn = 1,263 + 0,652Rg	0,97
Rn x Rg	2002	Rn = 0,483 + 0,736Rg	0,98
Rg _s x (Rg e IAF)	2000	$Rg_s = Rg \left[\frac{0,97317 - 0,37171}{1 + e^{(IAF-1,14568) / 0,25479}} + 0,37171 \right]$	0,99
Rg _s x (Rg e IAF)	2001	$Rg_s = Rg[1,17956 - 0,28671(IAF)]$	0,95
Rg _s x (Rg e IAF)	2002	$Rg_s = Rg \left[\frac{17,61267 - 0,16989}{1 + e^{(IAF+3,33807) / 1,03532}} + 0,16989 \right]$	0,93
Rn _s x (Rn e IAF)	2000	$Rn_s = Rn[1,31541 - 0,51821(IAF)]$	0,94
Rn _s x (Rn e IAF)	2001	$Rn_s = Rn[1,10456 - 0,22657(IAF)]$	0,87
Rn _s x (Rn e IAF)	2002	$Rn_s = Rn[0,38142 - 0,05309(IAF)]$	0,79
Rn _s x (Rg e IAF)	2002	$Rn_s = Rg \left[\frac{8,53314 - 0,13234}{1 + e^{(IAF+2,5643) / 0,95451}} + 0,13234 \right]$	0,93
PAR _s x (Rg e IAF)	2002	$PAR_s = Rg \left[\frac{1,09044 - 0,06604}{1 + e^{(IAF+0,79017) / 0,81965}} + 0,06604 \right]$	0,94
PAR _s x (PAR e IAF)	2002	$PAR_s = PAR \left[\frac{8,79934 - 0,22073}{1 + e^{(IAF+1,93313) / 0,86281}} + 0,22073 \right]$	0,92

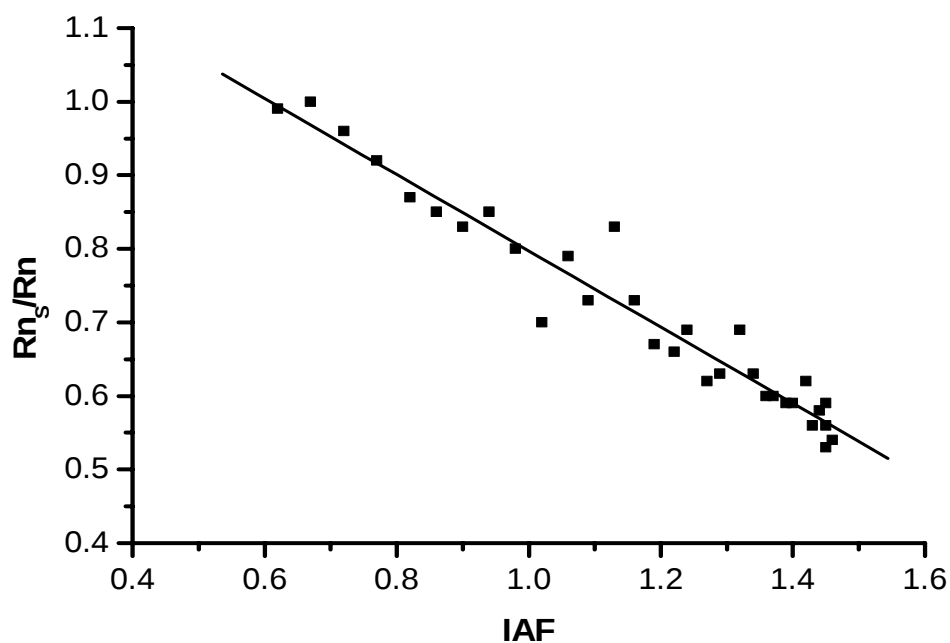


Figura 20. Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície (Rn_s) e o saldo de radiação no dossel das plantas (Rn) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2000.

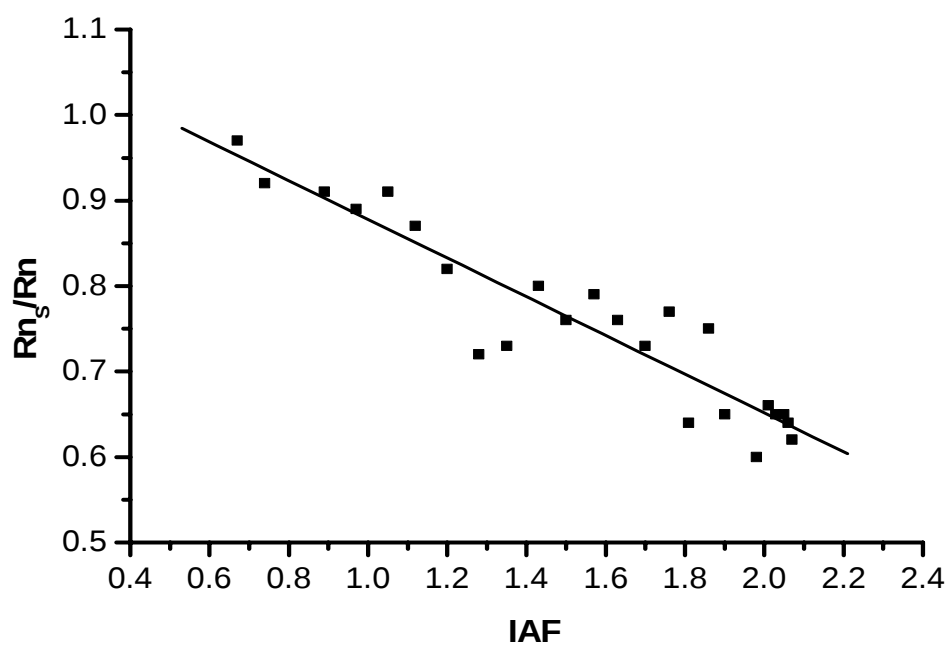


Figura 21. Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície (Rn_s) e o saldo de radiação no dossel das plantas (Rn) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2001.

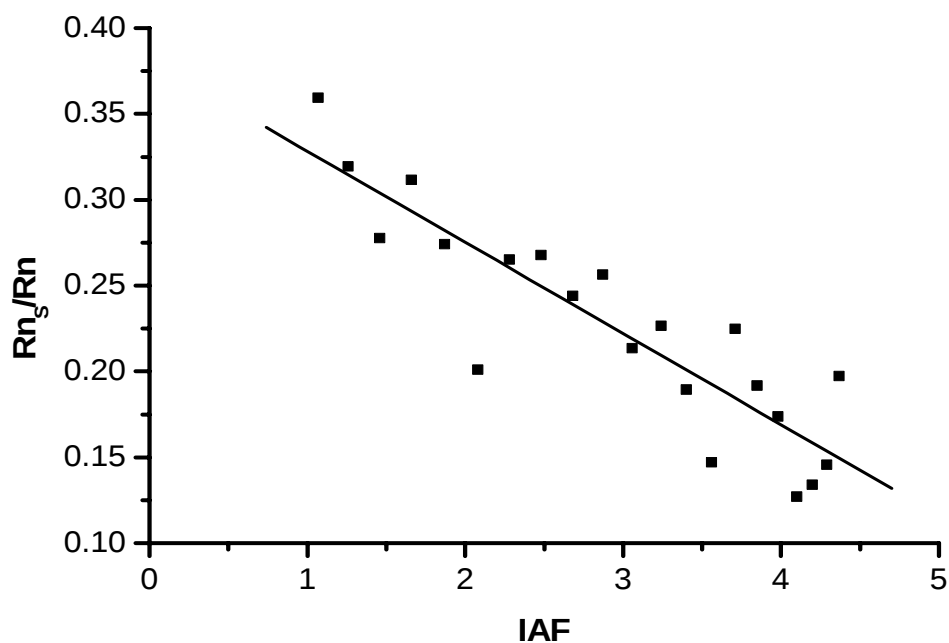


Figura 22. Variação da razão entre o saldo de radiação da superfície (Rn_s) e o saldo de radiação no dossel das plantas (Rn) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2002.

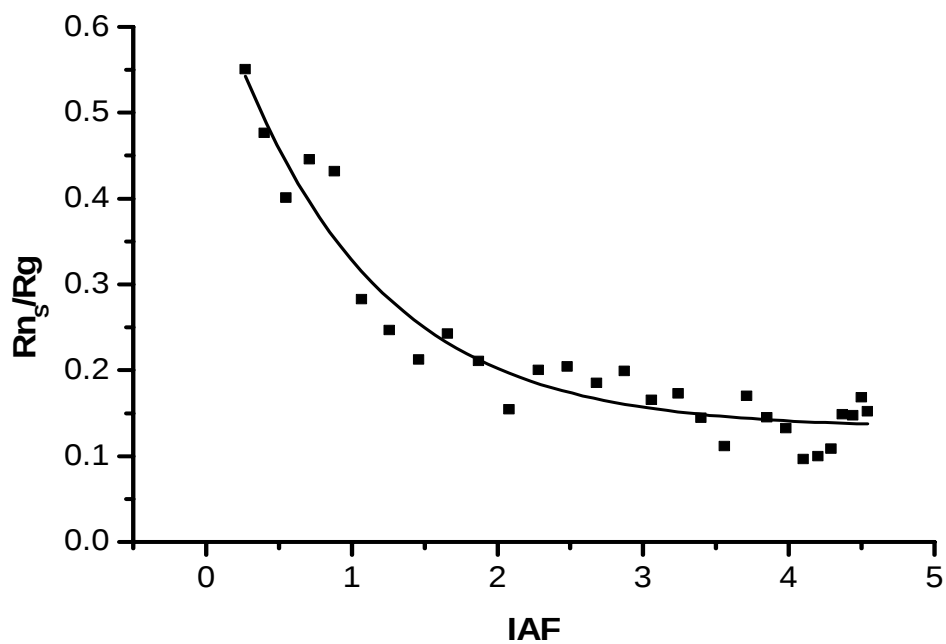


Figura 23. Variação da razão entre o saldo de radiação na superfície (Rn_s) e a radiação global (Rg) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2002.

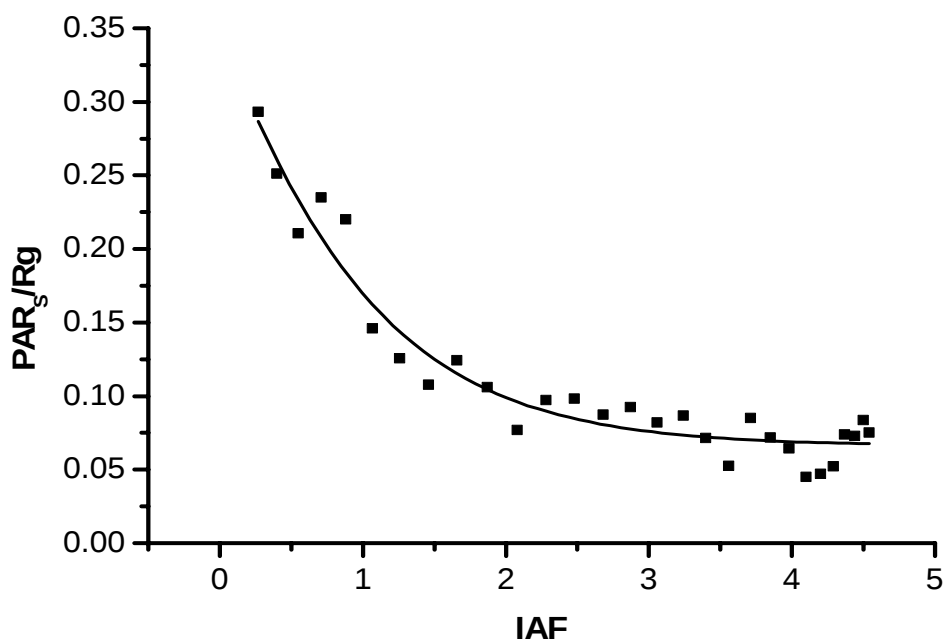


Figura 24. Variação da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s) e a radiação global (R_g) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2002.

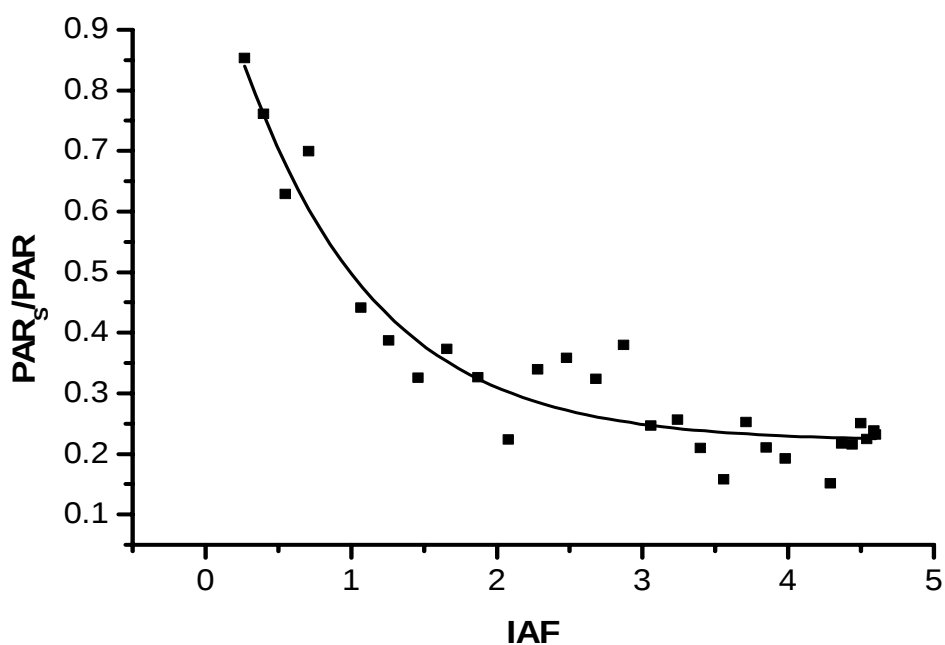


Figura 25. Variação da razão entre a radiação fotossinteticamente ativa medida na superfície (PAR_s) e a radiação fotossinteticamente ativa medida no dossel das plantas (PAR) em função do índice de área foliar (IAF) no ano de 2002.

As equações que melhor representam a relação do saldo de radiação e da PAR, medidas abaixo do dossel de plantas de milho com a radiação global incidente no dossel e o IAF, para o experimento de 2002, bem como também a equação que representa a relação entre a PAR medida na superfície com a PAR medida acima do dossel e o IAF, são mostradas na Tabela 2, com bons coeficientes de determinação, acima de 0,92.

4.3 – Balanço de radiação

4.3.1 – Balanço de ondas curtas

O balanço de ondas curtas referentes aos componentes de radiação obtido no cultivo de milho com diferentes manejos (sequeiro com controle de ervas daninhas, sequeiro com pouco controle das plantas invasoras e irrigado) são mostradas nas Tabelas 3, 4 e 5. que também mostram o comportamento dos componentes de radiação em função da variação da cobertura do céu, índice área foliar e as fases fenológicas. A nebulosidade influencia na quantidade de energia que chega a uma superfície e as fases fenológicas influenciam significativamente no saldo de radiação, principalmente na fase vegetativa, onde o poder de refletividade da superfície muda a medida que modifica o IAF. Observando a Tabela 3, nota-se que a eficiência da radiação (R_n/R_g) e o índice de disponibilidade de ondas curtas ($1-r$) na fase de emergência (solo nu) mostraram uma grande diferença entre os dias de céu claros e os dias nublados ou parcialmente nublados, observando as outras fases essas diferenças diminuem bastante. A média do saldo de radiação, eficiência da radiação e o índice de disponibilidade de ondas curtas para o experimento de 2000 foi de $10,70 \text{ MJm}^{-2}$, 0,74 e 0,83, respectivamente.

As plantas invasoras ao plantio de milho influenciam na refletância do dossel e conseqüentemente modifica a eficiência da radiação e o índice de disponibilidade de ondas curtas. Levando-se em conta que neste caso, o dossel não tem uma arquitetura uniforme, devido a existência das plantas invasoras ao plantio do milho. Esses fatos podem ser verificados na Tabela 4. O experimento realizado no ano de 2001 mostrou que em média o saldo de radiação foi de $11,91 \text{ MJm}^{-2}$ e os parâmetros R_n/R_g e ($1-r$) foram de 0,74 e 0,84 respectivamente. A Tabela 5 mostra que o índice de disponibilidade de ondas curtas ($1-r$) em dias nublados é maior na fase de emergência (0,88) e diminui à medida que chega as outras fases, obtendo um mínimo de 0,82 na fase 4, coincidindo com o IAF máximo, a partir daí

volta a aumentar. No experimento de 2002 a média do saldo de radiação, eficiência da radiação e o índice de disponibilidade de ondas curtas, foi de 13,63 MJm⁻², 0,77 e 0,85, respectivamente. Analisando as três Tabelas, observa-se que a eficiência da radiação em dias nublados é maior do que em dias com pouca nebulosidade, e que (1-r) é mínimo quando o IAF é máximo.

4.3.2 - Análise da radiação fotossinteticamente ativa no cultivo do milho

As Tabelas 6,7 e 8 mostram a variação da absorptância da radiação fotossinteticamente ativa em função do índice de área foliar e o coeficiente de extinção atmosférica (kt). A absorptância foi diferente nos três experimentos devido principalmente ao manejo diferenciado, no qual proporcionou diferentes índices de área foliar. Observando a Tabela 6 notou-se que com os IAF próximos, a absorptância foi maior nos dias nublado e menor nos dias mais limpos. Variando em média de 0,28 na fase fenológica de oito folhas a 0,63 na fase de florescimento e polinização. No experimento do ano de 2001 houve poucos tratos culturais (realizados apenas no início do plantio) desse modo o plantio ficou repleto de ervas daninhas, comprometendo a análise da absorptância do dossel. Portanto a variação mostrada na Tabela 7 não condiz totalmente com a realidade da absorptância do dossel de um plantio de milho. O experimento de 2002 foi realizado com controle de pragas e ervas daninhas e com boas condições de umidade (plantio irrigado), no qual favoreceu no crescimento das plantas, que atingiu um alto índice de área foliar (4,5). A Tabela 8 mostra que a absorptância variou de 0,64 na fase de oito folhas a 0,83 na fase de emissão do pendão. Analisando e comparando os cultivos do ano 2000 e 2002, absorptância da radiação fotossinteticamente ativa em média foi maior no plantio de 2002, devido ao IAF do ano 2002 que foi aproximadamente três vezes maior que o IAF do ano 2000. Em todos os plantios o índice de área foliar atingiu o máximo na fase de emissão do pendão com 1,45; 2,06 e 4,60 para os anos de 2000, 2001 e 2002 respectivamente. Nesta fase fenológica há também uma menor variação no índice de área foliar, pois termina a fase vegetativa da planta, e a partir daí há uma senescência das folhas, e o IAF começa a diminuir, assim a planta inicia sua fase reprodutiva.

O experimento de 2002 foi realizado com controle de pragas e ervas daninhas e com boas condições de umidade (plantio irrigado), no qual favoreceu no crescimento das plantas, que atingiu um alto índice de área foliar (4,5). A Tabela 8 mostra que a absorptância variou de 0,64 na fase de oito folhas a 0,83 na fase de emissão do pendão. Analisando e comparando os cultivos do ano 2000 e 2002, absorptância da radiação fotossinteticamente ativa em média foi maior no plantio de 2002, devido ao IAF do ano 2002 que foi aproximadamente três vezes

Tabela 3. Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho de sequeiro com manejo, realizado no ano de 2000 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dia do Ano	Fases fenológicas	IAF	Rn MJm⁻²	Rn/Rg	1-r	Céu
127	0		12,22	0,78	0,87	PN
132	0		14,60	0,66	0,82	CL
133	0		7,28	0,80	0,88	NB
137	1		7,79	0,76	0,86	NB
140	1	0,16	14,16	0,70	0,85	CL
143	1	0,34	11,87	0,77	0,87	PN
154	2	0,90	14,19	0,72	0,83	CL
158	2	1,06	6,09	0,78	0,85	NB
161	2	1,16	10,50	0,74	0,84	PN
171	3	1,39	9,26	0,74	0,82	PN
172	3	1,40	13,05	0,72	0,83	CL
173	3	1,42	6,01	0,77	0,83	NB
176	4	1,44	13,92	0,70	0,81	CL
177	4	1,45	8,72	0,75	0,82	PN
183	5	1,45	5,95	0,76	0,81	NB
190	5	1,39	14,16	0,74	0,83	Pne
191	5	1,37	11,04	0,72	0,82	PN
195	6	1,29	10,83	0,75	0,82	PN
197	6	1,24	7,32	0,80	0,83	NB
199	6	1,18	15,04	0,73	0,83	CL
204	7	1,02	15,23	0,72	0,82	CL
205	7	0,98	10,40	0,73	0,83	PN
212	7	0,67	6,56	0,78	0,82	NB
média	-	-	10,70	0,74	0,83	-

Tabela 4. Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho de sequeiro sem manejo, realizado no ano de 2001 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dias do Ano	Fases fenológicas	IAF	Rn MJm⁻²	Rn/Rg	1-r	Céu
163	0		5,58	0,84	0,91	NB
165	0		15,20	0,78	0,90	CL
174	0		11,33	0,75	0,86	PN
179	1		14,33	0,74	0,86	CL
183	1	0,14	7,23	0,79	0,86	NB
184	1	0,14	11,10	0,77	0,86	PN
195	2	0,36	12,78	0,67	0,83	CL
200	2	0,67	7,94	0,79	0,87	NB
201	2	0,74	11,63	0,78	0,86	PN
207	3	1,20	11,44	0,72	0,84	PN
213	3	1,63	14,44	0,71	0,83	CL
220	4	1,98	14,17	0,72	0,82	CL
224	4	2,06	10,58	0,74	0,82	PN
227	5	2,06	9,21	0,75	0,81	NB
228	5	2,05	11,20	0,70	0,81	PN
232	5	1,95	14,06	0,71	0,80	CL
241	6	1,47	12,19	0,71	0,80	PN
242	6	1,40	10,14	0,73	0,81	NB
244	6	1,26	15,20	0,70	0,81	CL
249	7	0,93	14,14	0,72	0,81	PN
250	7	0,87	16,15	0,70	0,81	CL
média	-	-	11,91	0,74	0,84	-

Tabela 5. Balanço de ondas curtas sobre o cultivo de milho irrigado, realizado no ano de 2002 em relação ao índice de área foliar (IAF), as condições de cobertura do céu: nublado (NB); parcialmente nublado (PN) e claro (CL), e as fases fenológicas: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dia do Ano	Fases fenológicas	IAF	Rn MJm⁻²	Rn/Rg	1-r	Céu
11	0		3,54	0,81	0,88	NB
14	0		14,70	0,73	0,84	PN
24	1		8,69	0,77	0,87	NB
25	1		18,33	0,76	0,86	CL
28	1	0,04	14,40	0,74	0,84	PN
35	2	0,88	9,34	0,79	0,86	NB
37	2	1,26	15,93	0,77	0,85	PN
41	2	2,08	19,40	0,77	0,84	CL
45	3	2,87	8,89	0,78	0,84	NB
46	3	3,06	17,16	0,77	0,85	PN
55	3	4,29	19,21	0,74	0,83	CL
57	4	4,44	17,83	0,75	0,83	CL
63	4	4,60	7,74	0,73	0,82	NB
66	4	4,53	15,28	0,77	0,83	PN
69	5	4,38	19,13	0,76	0,84	CL
75	5	3,89	14,13	0,77	0,85	PN
77	5	3,69	8,89	0,81	0,85	NB
81	6	3,27	15,34	0,77	0,86	PN
84	6	2,96	18,03	0,77	0,86	CL
87	6	2,67	8,39	0,78	0,86	NB
89	7	2,49	13,72	0,79	0,86	PN
92	7	2,26	8,16	0,80	0,87	NB
96	7	2,02	17,26	0,77	0,88	CL
média	-	-	13,63	0,77	0,85	-

Tabela 6 Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho de sequeiro com manejo, realizado no ano de 2000 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (kt) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3) emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dia do Ano	Fases fenológicas	IAF	PAR_i (MJm⁻²)	PAR_s (MJm⁻²)	K	Kt
154	2	0,90	8,52	6,66	0,22	0,67
158	2	1,06	3,28	2,23	0,32	0,27
161	2	1,16	5,83	4,06	0,30	0,48
Média	-	-	-	-	0,28	
171	3	1,39	5,17	2,65	0,49	0,43
172	3	1,40	7,43	4,10	0,45	0,63
173	3	1,42	3,13	1,53	0,51	0,27
Média	-	-	-	-	0,48	-
176	4	1,44	8,09	4,41	0,46	0,68
177	4	1,45	4,88	2,26	0,54	0,40
178	4	1,45	6,37	3,08	0,52	0,53
Média	-	-	-	-	0,51	-
183	5	1,45	3,09	1,14	0,63	0,27
190	5	1,39	7,54	3,12	0,59	0,65
191	5	1,37	6,16	2,57	0,58	0,52
Média	-	-	-	-	0,60	-
195	6	1,29	5,71	2,65	0,54	0,48
197	6	1,24	3,50	1,52	0,54	0,31
200	6	1,15	8,13	3,23	0,60	0,68
Média	-	-	-	-	0,56	-
204	7	1,02	8,56	3,66	0,57	0,69
205	7	0,98	5,69	2,25	0,60	0,46
212	7	0,67	3,40	1,26	0,63	0,27
Média	-	-	-	-	0,60	-

Tabela 7 Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho de sequeiro com poucas práticas de manejo, realizado no ano de 2001 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (kt) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dia do Ano	Fases fenológicas	IAF	PAR_i (MJm⁻²)	PAR_s (MJm⁻²)	K	kt
199	2	0,60	5,77	5,56	0,04	0,54
200	2	0,67	3,59	3,50	0,03	0,33
Média	-	-	-	-	0,04	-
207	3	1,20	5,62	4,46	0,21	0,52
213	3	1,63	7,13	5,34	0,25	0,65
219	3	1,94	2,36	1,36	0,42	0,20
Média	-	-	-	-	0,29	-
222	4	2,03	6,76	4,14	0,39	0,59
223	4	2,05	5,53	3,29	0,40	0,47
224	4	2,06	5,21	3,00	0,42	0,44
Média	-	-	-	-	0,40	-
227	5	2,06	4,33	2,37	0,45	0,37
228	5	2,05	5,59	3,11	0,45	0,48
232	5	1,95	7,04	2,48	0,65	0,60
Média	-	-	-	-	0,52	-
241	6	1,47	6,40	3,22	0,50	0,50
242	6	1,40	5,07	2,63	0,48	0,40
244	6	1,26	7,90	4,57	0,42	0,62
Média	-	-	-	-	0,47	-
247	7	1,06	5,86	3,05	0,48	0,45
249	7	0,93	7,37	3,78	0,49	0,56
250	7	0,87	8,69	5,04	0,42	0,65
Média	-	-	-	-	0,46	-

Tabela 8 Radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i), radiação fotossinteticamente ativa na superfície (PAR_s), coeficiente de extinção de luz (K) no cultivo de milho irrigado, realizado no ano de 2002 em relação ao índice de área foliar (IAF), o coeficiente de extinção atmosférico (kt) e as fases fenológicas: oito folhas (2); doze folhas (3); emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7).

Dia do Ano	Fases fenológicas	IAF	PAR_i (MJm⁻²)	PAR_s (MJm⁻²)	K	kt
35	2	0,88	4,72	2,59	0,45	0,30
37	2	1,26	8,16	2,59	0,68	0,52
41	2	2,08	9,96	1,94	0,80	0,64
Média	-	-	-	-	0,64	-
45	3	2,87	4,60	1,06	0,80	0,29
46	3	3,06	8,76	1,82	0,79	0,56
55	3	4,29	10,16	1,34	0,87	0,66
Média	-	-	-	-	0,82	-
57	4	4,44	9,35	1,72	0,82	0,61
63	4	4,60	4,25	0,65	0,85	0,27
66	4	4,53	7,89	1,39	0,82	0,52
Média	-	-	-	-	0,83	-
69	5	4,38	9,90	1,93	0,80	0,66
75	5	3,89	7,24	1,21	0,83	0,48
77	5	3,69	4,40	0,92	0,79	0,29
Média	-	-	-	-	0,81	-
81	6	3,27	7,87	1,68	0,78	0,53
84	6	2,96	9,20	1,98	0,78	0,63
87	6	2,67	4,33	1,36	0,69	0,29
Média	-	-	-	-	0,75	-
89	7	2,49	6,89	1,89	0,73	0,48
92	7	2,26	4,14	1,04	0,75	0,28
96	7	2,02	8,89	2,93	0,67	0,63
Média	-	-	-	-	0,72	-

maior que o IAF do ano 2000. Em todos os plantios o índice de área foliar atingiu o máximo na fase de emissão do pendão com 1,45; 2,06 e 4,60 para os anos de 2000, 2001 e 2002 respectivamente. Nesta fase fenológica há também uma menor variação no índice de área foliar, pois termina a fase vegetativa da planta, e a partir daí há uma senescência das folhas, e o IAF começa a diminuir, assim a planta inicia sua fase reprodutiva.

4.3.3 – Radiação solar global medida na superfície em baixo do dossel

As Tabelas 9 e 10 mostram as variações da radiação global a baixo do dossel em função do índice de área foliar. Para o IAF baixo, a diferença entre a radiação global medida entre as linhas do cultivo (R_{gs1}) e entre as plantas (R_{gs2}) foi muito pequena (em torno de 2%). À medida que aumenta o IAF aumenta essa diferença. Para o IAF igual a 1,35, R_{gs2} é maior que R_{gs1} nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, uma média no transcorrer do dia 70% da radiação global foi transmitida entre as linhas do plantio e 53% entre as plantas.

4.3.5 Balanço de radiação sobre a cultura do milho

A Figura 26 mostra o balanço de radiação sobre a cultura do milho desde a emergência até a maturação para os anos de 2000, 2001 e 2002. A maior média do saldo de radiação encontrada entre os três experimentos foi obtida no ano de 2002 (Figura 26c) com um valor médio de $14,30 \text{ MJm}^{-2}$, esse fato foi devido a época do plantio do experimento de 2002, que foi realizado durante o verão (período de maior luminosidade). O menor saldo de radiação (um valor médio de $10,63 \text{ MJm}^{-2}$) foi encontrado no experimento realizado no ano de 2000 (Figura 26a), o período de muita nebulosidade explica a baixa quantidade de energia disponível nesse plantio. No experimento de 2001, o saldo médio de radiação foi um pouco maior que o de 2000 (que não deveria ser). Esse fato ocorreu porque em 2001 houve poucos tratamentos culturais, e o plantio ficou repleto de ervas daninhas. Como a refletividade influencia o saldo de radiação, então o albedo médio do experimento de 2001 é de uma população de plantas mistas (milho e plantas invasoras).

A Figura 27 mostra o balanço de radiação PAR sobre o plantio de milho para os experimentos de 2000, 2001 e 2002. A radiação fotossinteticamente ativa é a radiação que as plantas utilizam para fazerem fotossíntese, portanto quanto maior o IAF, maior será a área de captação de luz. A produtividade de um plantio está relacionada com a quantidade de energia que a planta consegue armazenar.

TABELA 9 Variação horária da radiação solar global (R_g), radiação global entre linhas (R_{gs1}) e radiação global entre plantas (R_{gs2}) em função do IAF e do coeficiente de extinção atmosférico horário (k_t) para o ano de 2001.

Horas	k _t	IAF 0,67			k _t	IAF 0,97			k _t	IAF 1,35		
		Radiação(MJm ⁻²)				Radiação(MJm ⁻²)				Radiação(MJm ⁻²)		
		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}
5	0,05	0,00	0,00	0,00	0,27	0,01	0,01	0,01	0,16	0,01	0,00	0,00
6	0,10	0,09	0,08	0,08	0,39	0,34	0,20	0,26	0,47	0,41	0,24	0,26
7	0,12	0,22	0,22	0,21	0,48	0,93	0,61	0,65	0,44	0,87	0,53	0,51
8	0,14	0,40	0,39	0,39	0,53	1,49	1,31	1,43	0,60	1,73	0,84	0,90
9	0,56	1,97	1,93	1,94	0,44	1,55	1,49	1,51	0,30	1,09	0,90	0,82
10	0,42	1,64	1,59	1,59	0,75	2,98	2,98	3,09	0,56	2,25	2,04	1,61
11	0,41	1,68	1,67	1,65	0,70	2,88	2,88	2,90	0,53	2,22	2,06	1,35
12	0,31	1,22	1,21	1,19	0,50	1,97	1,89	1,32	0,69	2,78	2,71	1,29
13	0,47	1,65	1,64	1,58	0,54	1,89	1,76	0,65	0,69	2,48	1,76	0,60
14	0,20	0,57	0,56	0,55	0,61	1,73	1,55	1,01	0,59	1,69	0,41	0,57
15	0,23	0,44	0,43	0,41	0,56	1,07	0,59	0,63	0,75	1,48	0,44	1,13
16	0,15	0,12	0,11	0,11	0,69	0,59	0,30	0,35	0,55	0,49	0,29	0,25
17	0,51	0,02	0,01	0,01	0,23	0,01	0,01	0,04	0,56	0,03	0,01	0,01
Total	-	10,02	9,84	9,71	-	17,44	15,58	13,85	-	17,53	12,23	9,29

TABELA 10 Variação horária da radiação solar global (R_g), radiação global entre linhas (R_{gs1}) e radiação global entre plantas (R_{gs2}) em função do IAF e do coeficiente de extinção atmosférico horário (k_t) para o ano de 2001.

Horas	k _t	IAF 1,57			k _t	IAF 1,86			k _t	IAF 2,00		
		Radiação(MJm ⁻²)				Radiação(MJm ⁻²)				Radiação(MJm ⁻²)		
		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}		Rg	Rg _{S1}	Rg _{S2}
5	0,14	0,01	0,00	0,00	0,23	0,01	0,00	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00
6	0,29	0,26	0,17	0,16	0,48	0,45	0,15	0,13	0,39	0,38	0,15	0,14
7	0,57	0,13	0,57	0,65	0,64	1,29	0,57	0,52	0,22	0,45	0,27	0,19
8	0,35	1,01	0,69	0,61	0,51	1,50	0,41	0,36	0,29	0,86	0,45	0,33
9	0,41	1,48	1,14	0,85	0,56	2,06	0,94	1,23	0,49	1,81	0,65	0,59
10	0,49	2,00	1,66	1,41	0,63	2,60	2,60	1,11	0,58	2,43	1,67	0,92
11	0,54	2,26	1,99	1,30	0,74	3,15	3,15	0,64	0,50	2,17	1,61	0,79
12	0,51	2,08	1,80	0,80	0,62	2,55	2,11	0,53	0,56	2,31	1,93	0,61
13	0,42	1,53	1,17	0,72	0,68	2,51	1,61	0,54	0,44	1,63	1,05	0,51
14	0,25	0,73	0,53	0,44	0,51	1,51	0,61	1,20	0,37	1,09	0,57	0,38
15	0,29	0,58	0,40	0,31	0,64	1,29	0,71	0,49	0,36	1,73	0,32	0,24
16	0,23	0,21	0,14	0,12	0,46	0,42	0,25	0,17	0,24	0,23	0,12	0,09
17	0,42	0,02	0,01	0,01	0,59	0,04	0,01	0,02	0,39	0,02	0,01	0,01
Total	-	12,30	10,27	7,38	-	19,38	13,12	6,94	-	15,12	8,80	4,80

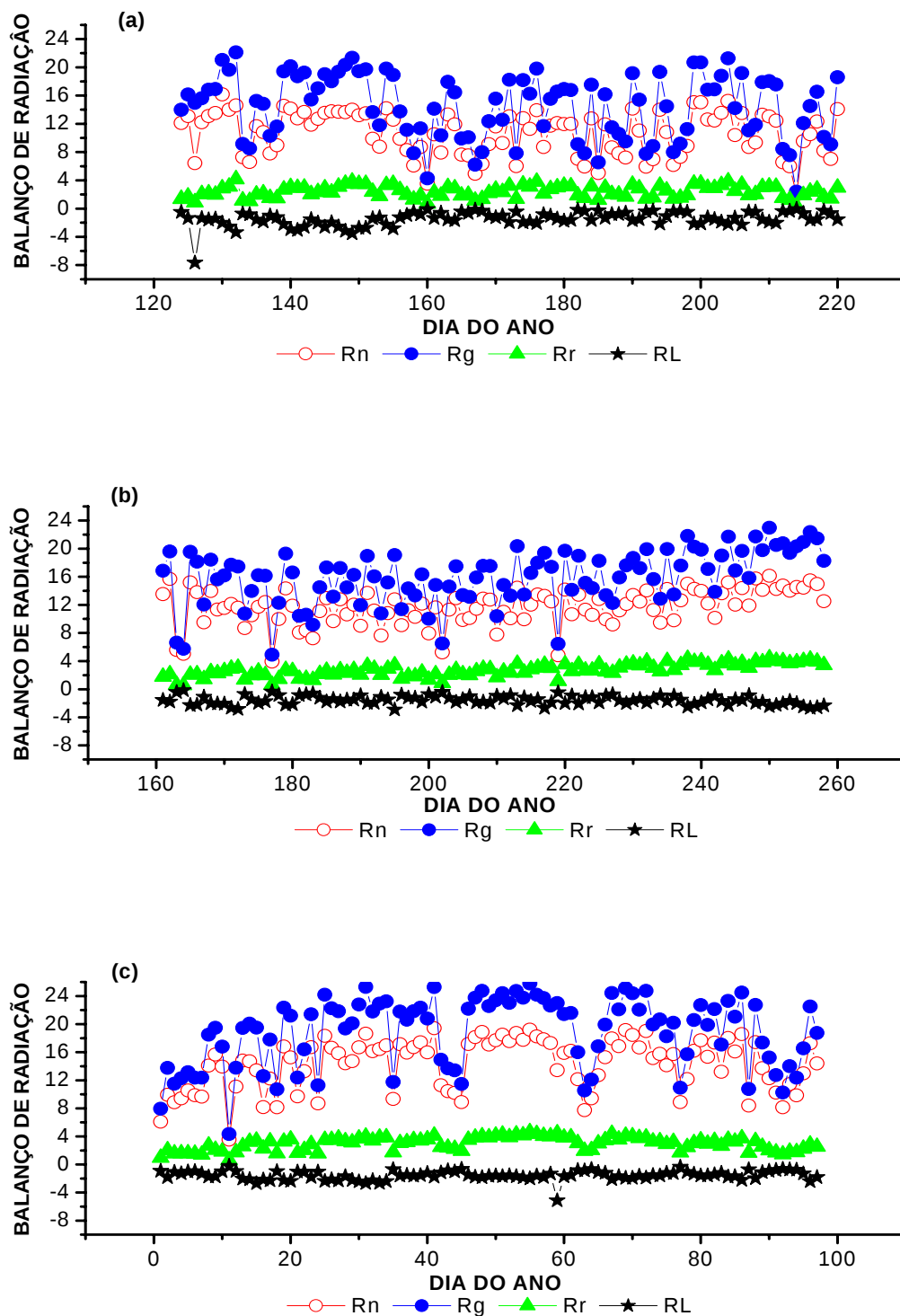


FIGURA 26. Balanço de radiação sobre a cultura do milho, saldo de radiação (Rn), radiação global (Rg), radiação refletida (Rr) e radiação de ondas longas (RL), desde a emergência até a maturação para os anos (a) 2000 (b) 2001 e (c) 2002.

No experimento de 2002 a produtividade ($5,0 \text{ t ha}^{-1}$) foi maior do que a dos outros experimentos ($4,0 \text{ t ha}^{-1}$) devido a maior média da PAR absorvida pelo dossel do plantio desse ano (Figura 27c) com um valor médio de $5,96 \text{ MJm}^{-2}$. Fato esse que está relacionado com um alto índice de área foliar, que no final da fase vegetativa atingiu um máximo de 4,5. A menor média da PAR absorvida foi encontrada no experimento de 2000 (Figura 27a) com um valor médio de $2,47 \text{ MJm}^{-2}$.

4.4 – Albedo

4.4.1 – Variação do albedo médio horário

O albedo de uma vegetação é uma média da reflectância da luz durante o dia, onde é maior ou menor, de acordo com as características da superfície e o ângulo de elevação solar (tanto diário quanto horário). Como o albedo influencia significativamente no saldo de radiação, então é necessário estudarmos também a variação do albedo durante o dia.

A variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa do milho (Figuras 28, 30 e 32) se mostrou diferenciado entre as fases fenológicas. Diferentemente da fase reprodutiva da planta (Figuras 29, 31 e 33), onde se mostrou uma variação muito pequena. Os menores albedos médios horários foram encontrados na fase inicial do plantio (emergência), devido ao fato que nessa fase o solo não está coberto totalmente pelas plantas, havendo assim, uma influencia da superfície do solo no albedo da plantação. Na fase fenológica do milho de 12 folhas expandidas foi encontrado os maiores albedos médios horários, fato que se deve a maior cobertura vegetativa do solo.

No início da manhã (nas primeiras horas dos raios solares) e no final da tarde o albedo médio horário é sempre maior do que ao meio dia, fato que se deve principalmente à variação da inclinação dos raios solares no transcorrer do dia, com o ângulo de elevação solar menor, os raios são mais refletidos do que com o ângulo de elevação maior (onde as plantas interagem melhor com a luz).

Analisando a fase reprodutiva nos três experimentos, notou-se que o albedo médio horário entre as fases fenológicas nos anos de 2000 e 2001 (Figuras 29 e 31) foi semelhante. Enquanto que no plantio de 2002 (Figura 33) houve uma diferença significativa na variação do albedo médio horário entre as fases fenológicas, sendo maior na fase de emissão do pendão e menor na fase fenológica do grão pastoso (nesse período há senescência e queda das folhas).

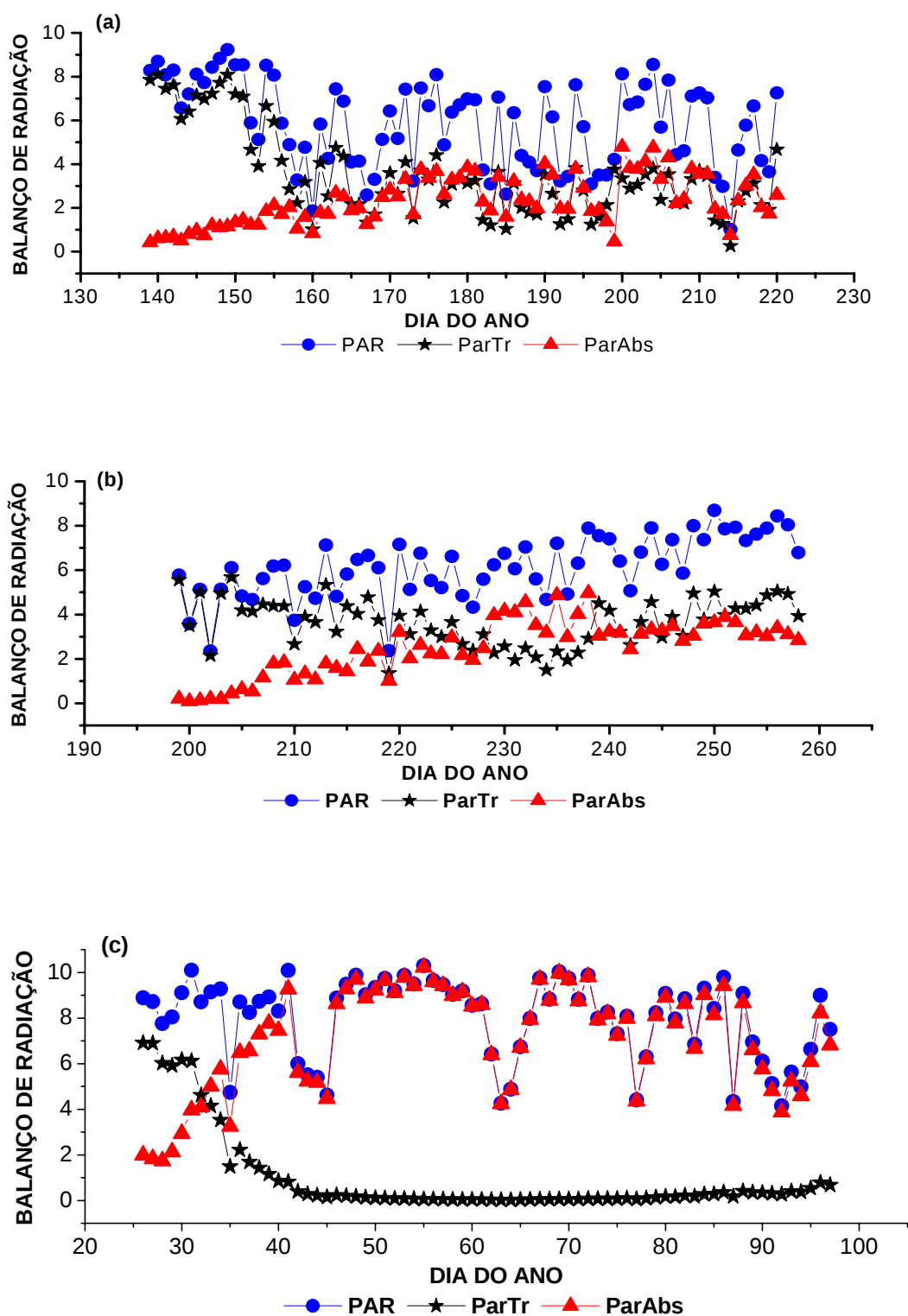


Figura 27. Balanço de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), radiação fotossinteticamente ativa transmitida (ParTr) e radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel nos anos de 2000 (a), 2001 (b) e 2002 (c).

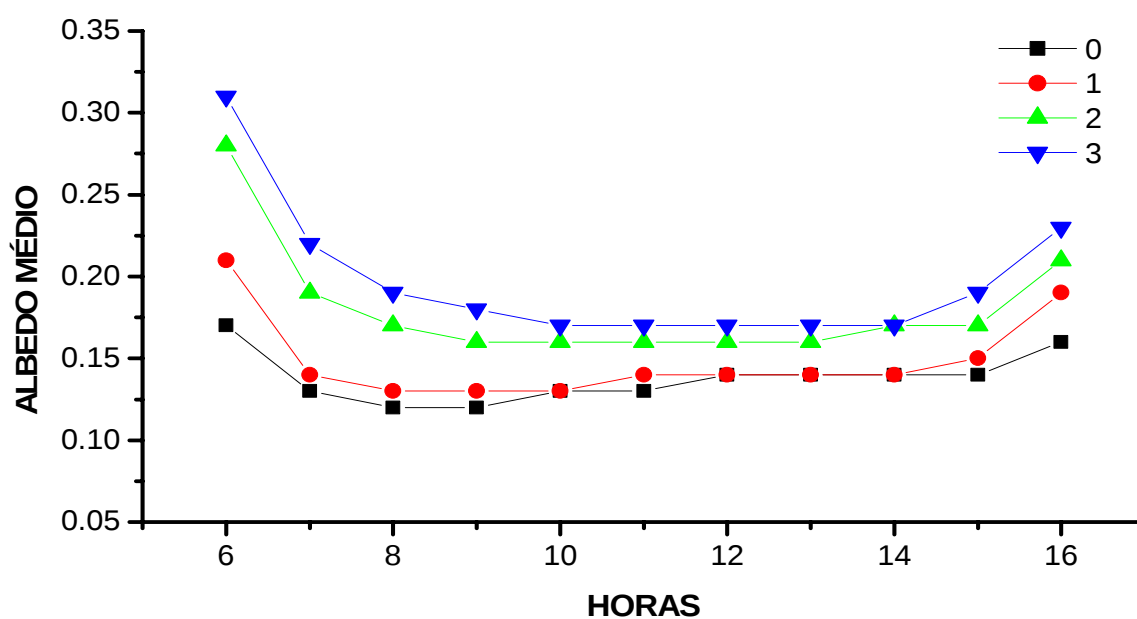


Figura 28. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3), para o ano de 2000.

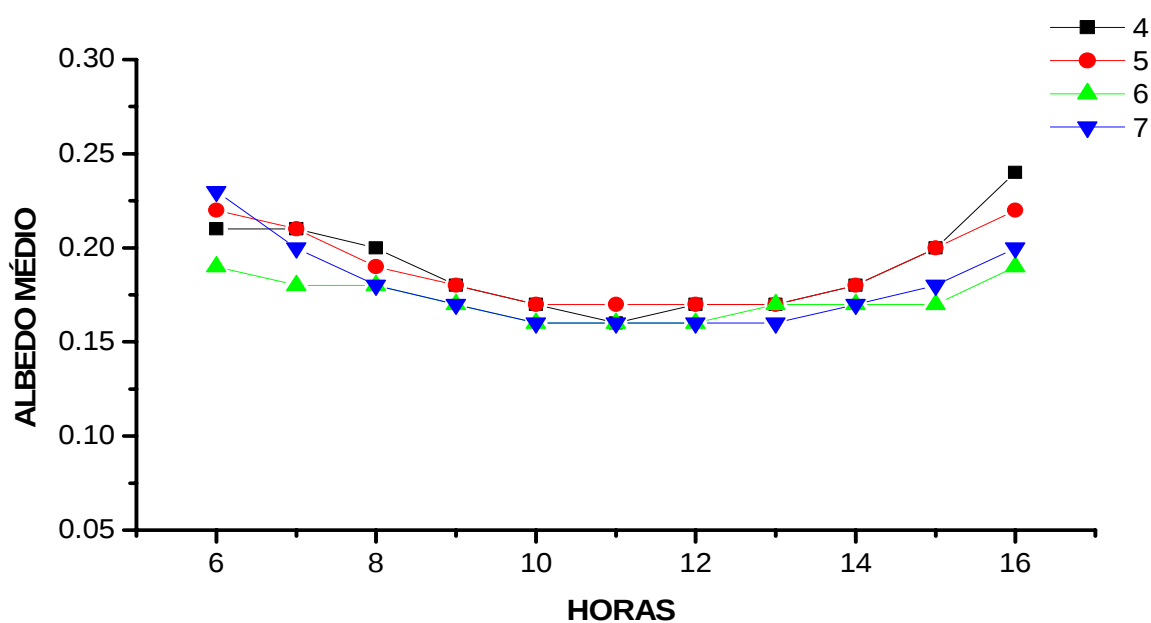


Figura 29. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva: emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7), para o ano de 2000.

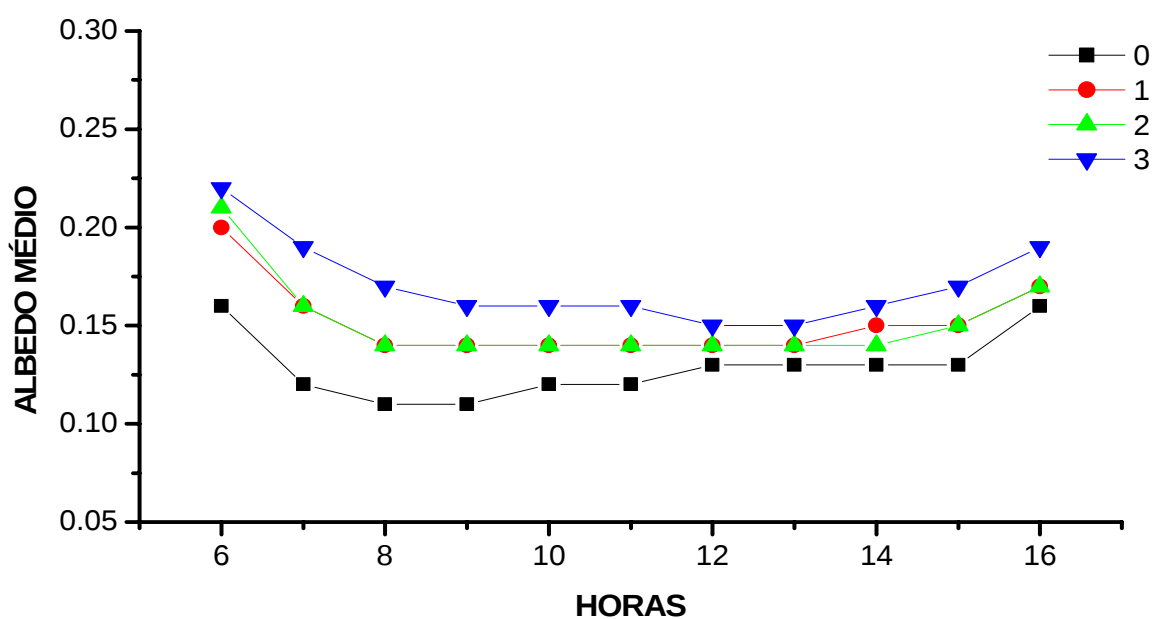


Figura 30. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3), para o ano de 2001.

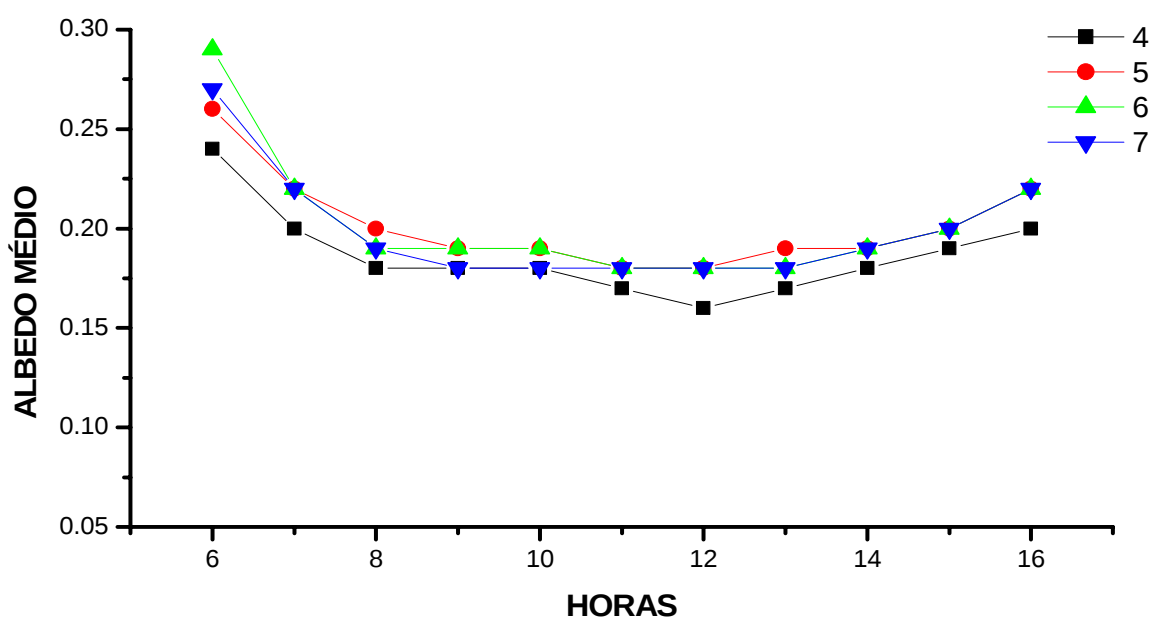


Figura 31. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva: emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7), para o ano de 2001.

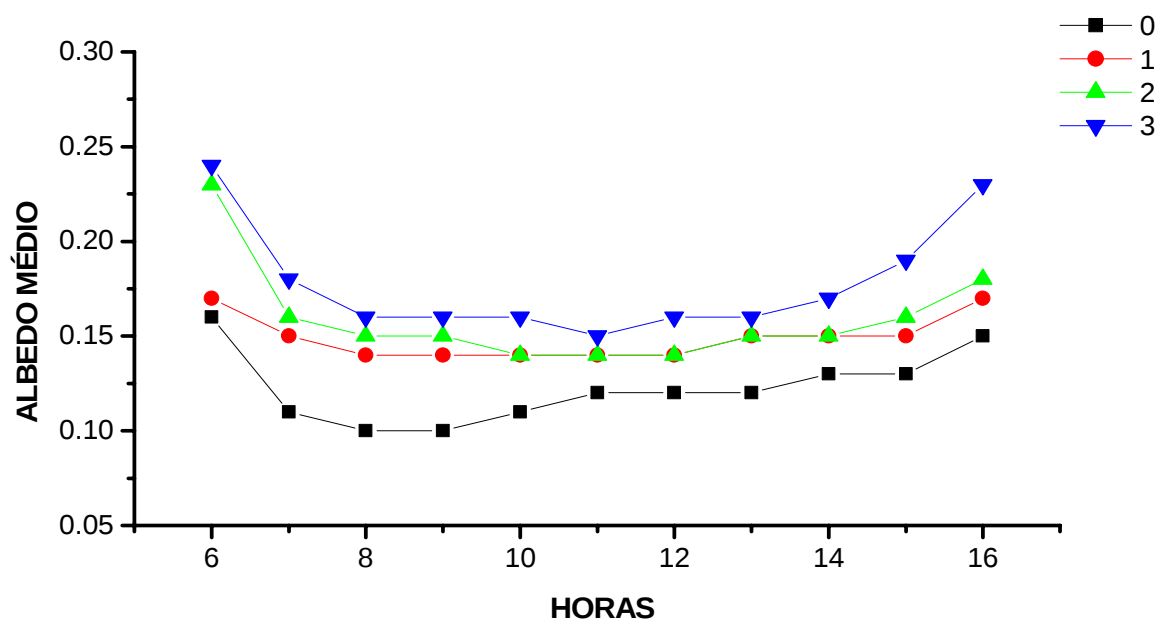


Figura 32. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase vegetativa: emergência (0); quatro folhas (1); oito folhas (2); doze folhas (3), para o ano de 2002.

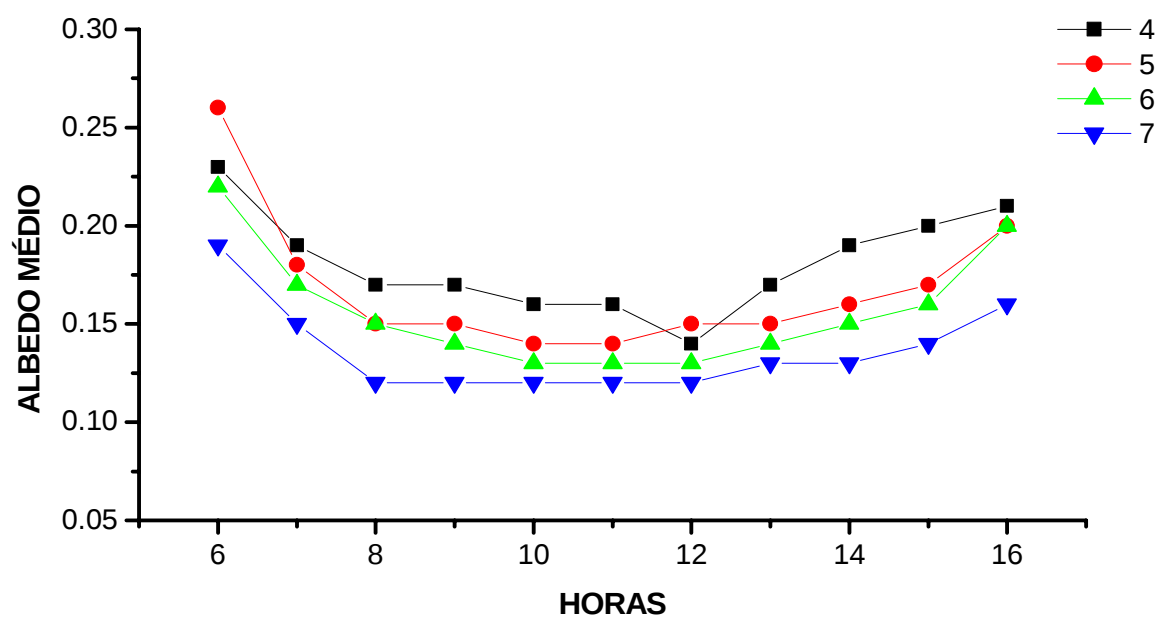


Figura 33. Variação do albedo médio horário durante o dia na fase reprodutiva: emissão do pendão (4); florescimento e polinização (5); grão leitoso (6) e grão pastoso (7), para o ano de 2002.

5.0 - - CONCLUSÕES

Nos cultivos, tratados com diferentes tipos de manejo, o índice de área foliar atinge o máximo próximo dos 60 dias após a emergência, mesmo tendo uma taxa diferenciada do crescimento das plantas durante a fase vegetativa. Esse fator também influencia diretamente a radiação fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel de plantas.

As medidas e análises da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel de milho é de fundamental importância no entendimento da maneira com que as plantas transformam essa radiação em energia armazenada em forma de matéria seca e grãos. Nos três experimentos a radiação fotossinteticamente ativa correspondeu em a 43% da radiação global.

A atenuação da radiação em um plantio depende da arquitetura do dossel, por isso a radiação entre as plantas da linha é mais atenuada que a radiação entre as plantas de linhas diferentes, e, essa diferença é aumentada pelo maior índice de área foliar.

As diferentes épocas de cultivos condicionaram maiores saldos de radiação para os períodos com maior transmitância atmosférica global. Porém, a eficiência da radiação mostrou-se maior em dias nublado. O índice de disponibilidade de ondas curtas é menor na fase fenológica onde o índice de área foliar é máximo.

Os maiores albedos médios horários ocorrem no início da manhã e no final da tarde. Em relação às fases fenológicas, os menores albedos médios horários ocorrem na primeira fase (estabelecimento de plantas) fenológica do milho.

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE F. H., UHART S. A., ARGUISSAIN G. G., RUIZ R. A. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. **Field Crops Research**, vol. 28, p. 345 – 354, 1993.

ALADOS I., OLMO F. J., FOYO – MORENO I., ALADOS – ARBOLEDAS L., Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 102, p. 39 - 50, 2000.

ALI AL-MOHAMAD. Global, direct and diffuse solar-radiation in Síria. **Applied Energy**, vol. 79, p 191 – 200, 2004.

ALMOROX J., HONTORIA C., Global solar radiation estimation using sunshine duration in spain. **Energy Conversion and Managenment**, vol. 45, p 1529 – 1535, 2004.

ARTHUR SAMPSON D., SMITH F. W., Influence of canopy architerture on liht penetration in lod gepole pine forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 64, p. 63 - 79, 1993.

BAVEC, F., BAVEC, M. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yeld of early maturing MAIZE cultivars (FAO 100 – 400). **European Jornal of Agronomy**, vol.16, p. 151 – 159, 2002.

BÉGUÉ A., ROUJEAN J. L., HANAN N. P., PRINCE S. D., THAWLEY M., HUETE A., TANRÉ D. Shortwave radiation budget of sahelian vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 79, p. 79-96, 1996.

CRUZ, J.C., MONTEIRO, J.A., SANTANA, D.P., GARCIA, J.C., BAHIA, F.G.T.C., SANS, L.M.A., PEREIRA FILHO, I.A., **Recomendações Técnicas Para o Cultivo de Milho**. Brasília, Embrapa, 1997.

FREITAS, P. S. L., MANTOVANI, E. C., RESENDE, R., GONSALVES, A. C. A., BERTANHA, A., Influência da radiação solar sobre os valores de produtividade da cultura do milho. **Revista Maringá**, v.23, n. 5, p. 1221 – 1227, 2001.

GIAMBELLUCA, T. W., FOX, J., YARNASARN, S., ONIBUTR, P., NULLET, M.A. Dry-season radiation balance of covers replacing forest in northern Thailand. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 95, p. 53-65, 1999.

IZIOMON M. G., MAYER H. On the variability and modeling of surface albedo and long-wave radiation components. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 111, p. 141-152, 2002.

KHABBA S., LEDENT J. F., LAHROUNI A. Development and validation model of heat diffusion in maize ear. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 97, p. 113 - 127, 1999.

KONDRATEV, K. Y. **Radiation in the atmosphere**. London: Academic Press, 1969. p 655.

MADDONI G. A., OTEGUI M.E., Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, vol. 48, p. 81 – 87, 1996.

MARIO DE MIRANDA V. B. R. LEITÃO, GERTURDES MACARIO DE OLIVEIRA. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 4, n. 2, p. 214 – 218, 2000.

OMETTO, J. C., **Bioclimatologia vegetal**. Editora agrônômica Ceres Ltda, São Paulo, p 407 e 408, 1981.

PALIATSOR A. G., KAMBERZIDIS H. D., ANTONIOU A. Diffuse solar irradiation at a location in the Balkan Peninsula, vol. 28, p. 2147 – 2156, 2003.

PENGELLY B. C., BLAMEY F. P. C., R. C., MUCHOW R. C., Radiation interception and three tropical annual forage legumes. **Field Crops Research**, vol. 63, p. 99 – 112, 1999.

ROSENBERG, N. J., BLAD, B. L., VERMA, S. B., **Microclimate the biological environment**. 2.ed. New York: John Wiley, p. 495, 1983.

ROSS J., ROSS V., KOPPEL A., Estimation of area and its vertical distribution during growth period. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 101, p. 237 - 246, 2000.

SEEMANN J., CHIRKOV Y. I., ZOMAS J., PRIMANT B., **Agrometeorology**. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York, 1979, p. 2.

SILVAKUMAR M. V. K., VIRMANI S. M., Crop productivity in relation to interception of photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 31, p. 131 - 141, 1984.

SOUZA, J. L. de. **Saldo radiômetro com termopilha de filme fino a aplicação no balanço de radiação e energia em cultivo de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. 1996. 174f.** Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual de São Paulo-UNESP.

TEODORO, I., **Avaliação da evapotranspiração e desenvolvimento da cultura do milho irrigado, na região de Rio Largo – AL.** P. 65, Dissertação (mestrado em meteorologia) programa de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, 2003

THORSTEN POHLERT. Use of empirical global radiation models for maize growth simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, article in press, 2004.

TSUBO M., WALKER S., A model of radiation interception and use by a maize – bean intercrop canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 110, p. 203 - 215, 2002.

WATIKI J. M., FUKAI S., BANDA J. A., KEATING B. A. Radiation interception and growth of maize/cowpea intercrop as affected by maize plant density and cowpea cultivar. **Field Crops Research**, Vol. 35, p 123 – 133, 1993.

WILSON D. R., MUCHOW R. C., MURGATROYD C. J. Model analysis of temperature and radiation limitations to maize potential productivity in cool climate. **Field Crops Research**, Vol. 43, p 1 – 18, 1995.

YANG X., SHORT T.H., FOX R. D., BAUERLE W. L., **A theoretical model of solar radiation transfer in a row – crop canopy.** *Agricultural Engineers*, vol. 33 , 1990.