EVOLUÇÃO DO SISTEMA FOLIAR E RESPOSTA À RADIAÇÃO SOLAR EM
TRÊS VARIEDADES DE SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill).

POKOU YAO

Orientador: José Carlos Ometto

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro, 1977

ERRATA

Página 7, 3º parágrafo - ler NICHIPOROVICH.

Página 16, após 3a. linha,

$K(\overset{\downarrow}{0})_{\rightarrow 400}$ = Radiação Solar Global, de comprimentos
de onda inferiores a 400 mμ, medida
abaixo da cobertura vegetal.

Página 57, após 5a. linha,

NICHIPOROVICH, A.A., 1962. "Properties of
plant crops as an optical system". Soviet
Plant Physiology. 8:428-435.

Página 57, última citação - ler SINGH.

A meus Parentes

OFEREÇO

À minha namorada

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil pela bolsa de estudo outorgada.

À Reitoria da Universidade de São Paulo.

À Coordenadoria de Atividades Culturais (CODAC) da USP pelo Curso de Língua Portuguesa ministrado pela Senhora Alice Gerab Labaki.

Ao Prof. Dr. José Carlos Ometto, pela orientação, atenção e valiosa ajuda na formulação deste e outros trabalhos realizados durante o curso.

Ao Prof. Dr. Jesus Marden dos Santos, Coordenador do Curso, pela atenção e paciência durante o decorrer deste curso e a valiosa colaboração na formulação final deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova pela disponibilidade, sugestões e bibliografia recomendada.

Ao Prof. Dr. Afonso Decico pela atenção e valiosa colaboração na formulação final deste trabalho.

Aos colegas, os Engenheiros-Agrônomos José Gomes e Wilmar Wendt pelo apoio moral e colaboração técnica.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia pela atenção particular e clima de amizade mantido ao longo destes dois anos.

Ao colega e amigo Yaganabé Yéo pelo apoio moral e espírito de compreensão demonstrado durante nossa permanência no Brasil.

Ao Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela cessão do material usado na determinação das áreas foliares.

Ao colega e amigo Henry Bajungu Even pela tradução inglesa do resumo deste trabalho.

Ao funcionário Antonio José Leite Ferraz pelos serviços de datilografia.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Características do local	10
4.2. Material biológico	10
4.3. Descrição da arquitetura foliar	11
4.3.1. Análise teórica	11
4.3.2. Operações para a determinação de q_i	12
4.3.2.1. Coleta das folhas	12
4.3.2.2. Determinação da área total das folhas coletadas, em cada classe de inclinação	13
4.4. Determinação do coeficiente de absorção (A_c) da radiação solar global incidente nas fo- lhas e da percentagem de radiação fotossinte- ticamente ativa (α PHAR) acima e abaixo da cultura	14
4.4.1. Considerações teóricas	14
4.4.2. Considerações práticas para a determi- nação da PHAR	16
4.4.3. Medidas de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K_O^\downarrow$, $K_{RG695}^\downarrow$ e $K(0)_{RG695}^\downarrow$	17
5. RESULTADOS	19
5.1. Arquitetura foliar	19
5.2. Radiação Solar	35
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
6.1. Evolução do sistema foliar	44
6.1.1. Inclinação das folhas	44
6.1.2. Índice de área foliar	45

6.2. Comportamento relativo à radiação solar da cobertura nas três variedades	46
6.2.1. Comparação da variação das grandezas $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K_{RG695}^\downarrow$, $K_{PHAR}^\downarrow$, K^* , $K_O^\downarrow$, A e $K(O)_{RG695}^\downarrow$ no período diurno	46
6.2.2. Variação de R , A_c , T , T_{NIR} , α_{NIR} e α_{PHAR}	46
7. CONCLUSÕES	49
8. SUMMARY	51
9. RESUME	53
10. LITERATURA CITADA	55

LISTA DE TABELASPágina

TABELAS

1	Frequências de inclinação das folhas, aos 46 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	20
2	Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 46 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	20
3	Frequências de inclinação das folhas, aos 62 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	21
4	Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 62 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	21
5	Frequências de inclinação das folhas, aos 79 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	22
6	Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 79 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	22
7	Frequências de inclinação das folhas, aos 93 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	23
8	Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 93 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja	23

TABELAS

- 9 Valores medidos de $K^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$, $K_O^{\downarrow}$, $K_{RG695}^{\downarrow}$ e de $K(O)_{RG695}^{\downarrow}$ em $W \cdot m^{-2}$ e estimados de $K_{PHAR}^{\downarrow}$, K^* , A e de $K(O)_{PHAR}^{\downarrow}$ em $W \cdot m^{-2}$ e de R, α_{NIR} , α_{PHAR} , T, T_{NIR} e de A_c em percentagem -
VARIEDADE: UFV-I 24
- 10 Valores medidos de $K^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$ e $K_{RG695}^{\downarrow}$ em $W \cdot m^{-2}$ e estimado de K^* em $W \cdot m^{-2}$ e R, α_{NIR} e α_{PHAR} em percentagem - VARIEDADE: VIÇOSA 25
- 11 Valores medidos de $K^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$, $K_O^{\downarrow}$, $K_{RG695}^{\downarrow}$, $K(O)_{RG695}^{\downarrow}$ em $W \cdot m^{-2}$ e estimados de $K_{PHAR}^{\downarrow}$, K^* , A e de $K(O)_{PHAR}^{\downarrow}$ em $W \cdot m^{-2}$ e de R, α_{NIR} , α_{PHAR} , T, T_{NIR} e A_c em percentagem - VARIEDADE: SANTA ROSA - 26

LISTA DE FIGURASPágina

FIGURAS

1	Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade UFV-I	27
2	Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade Viçosa	28
3	Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade Santa Rosa	29
4	Distribuição das folhas, 46 dias após o plantio, nas 3 variedades	30
5	Distribuição das folhas, 62 dias após o plantio, nas 3 variedades	31
6	Distribuição das folhas, 79 dias após o plantio, nas 3 variedades	32
7	Distribuição das folhas, 93 dias após o plantio, nas 3 variedades	33
8	Variação do índice de área foliar, durante o ciclo vegetativo, nas três variedades	34
9	Variação de $K^{\downarrow}$, K^* , $K_{RG695}^{\downarrow}$, $K_{PHAR}^{\downarrow}$, A , $K^{\uparrow}$, $K_O^{\downarrow}$ e de $K(0)_{RG695}^{\downarrow}$, durante o dia 17/02/1977, na variedade UFV-I	36
10	Variação de $K^{\downarrow}$, K^* , $K_{RG695}^{\downarrow}$, $K_{PHAR}^{\downarrow}$ e $K^{\uparrow}$ durante o dia 18/02/1977, na variedade Viçosa	37
11	Variação de $K^{\downarrow}$, K^* , $K_{RG695}^{\downarrow}$, $K_{PHAR}^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$, A , $K_O^{\downarrow}$ e $K(0)_{RG695}^{\downarrow}$, durante o dia 22/02/1977, na variedade Santa Rosa	38

FIGURAS

12	Variação de A_c , α PHAR, α NIR, R, T e T_{NIR} , durante o dia 17/02/1977, na variedade UFV-I ...	39
13	Variação de α PHAR, α NIR e R, durante o dia 18/02/1977, na variedade Viçoja	40
14	Variação de A_c , NIR, PHAR, R, T e T_{NIR} , durante o dia 22/02/1977, na variedade Santa Rosa	41
15	Variação de $K^\dagger$ durante os dias de medida	42
16	Variação dos R, A_c , α PHAR e T respectivos obtidos nas variedades	43

1. RESUMO

A cobertura vegetal de três variedades de soja (Glycine max (L.) Merrill), UFV-I, Viçosa e Santa Rosa, cultivadas no Brasil, foi estudada sob o ponto de vista da evolução do sistema foliar e sua resposta à reflexão, transmissão e absorção para a radiação solar.

A partir da determinação das frequências de inclinação das folhas aos 46, 62, 79 e 93 dias após o plantio, verificou-se que as três variedades possuem tendência planofilar bem acentuada, que diminui com o aumento do índice de área foliar. Na variedade UFV-I, de ciclo médio, este índice atinge seu valor máximo mais cedo do que nas duas outras variedades de ciclo longo.

As medidas dos fluxos de radiação solar com características próprias, foram realizadas, em intervalos de 30 minutos, durante um único período diurno, para cada variedade.

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

— o coeficiente de absorção das folhas (A_c) para a radiação solar global segue uma função crescente da altura do sol (h) para altas incidências do sol e tende a ser constante ao redor de 12 horas TVS, devido, com certeza, às incidências pequenas dos raios solares, à saturação em radiação solar e ao murchamento temporário da maioria das folhas neste momento. Este coeficiente varia no mesmo sentido que a percentagem de radiação fotossinteticamente ativa (α PHAR), consequência da absorção preferencial dos comprimentos de onda da PHAR pelas folhas. A_c é maior na variedade UFV-I (média diária = 73,3%) do que na variedade Santa Rosa (média diária = 63,7%).

— o coeficiente de reflexão da radiação solar global (R) é mais elevado na variedade UFV-I (média diária = 22,3%). Nesta variedade, ele assume uma função decrescente da altura do sol, enquanto que nas duas outras varia independentemente de h ;

— a percentagem de radiação solar global transmitida (T) pelas folhas é uma função crescente da altura do sol na variedade UFV-I. Na variedade Santa Rosa, ela decresce até 10 horas TSV depois fica constante. Considerando-se a PHAR, a transmissão de radiação solar global pelas folhas é quase inexistente. T se encontra maior na variedade Santa Rosa (média diária = 7,8%) do que na variedade UFV-I (média diária = 4,5%).

2. INTRODUÇÃO

A produção de matéria seca por uma planta ou uma cobertura vegetal é, essencialmente, função da parte absorvida da radiação solar global (K^+), incidente sobre estas, e do potencial fotossintético da planta. Em todo o espectro da radiação, as mais eficientes são aquelas de comprimentos de onda entre 400 e 700 mμ e que participam com 50% da radiação solar global incidente (MONTEITH, 1965). A qualidade e a quantidade da radiação solar global, absorvida pela cobertura vegetal, dependem de vários elementos, entre os quais, a altura do sol (h), a composição espectral da radiação incidente, as propriedades óticas das folhas e a arquitetura foliar.

Os fisiologistas vegetais, os fitomelhoristas, assim como os agrometeorologistas, consideram que plantas com folhas eretas apresentam um índice de produtividade primária elevada, por permitirem uma melhor absorção da radiação solar global, para elevados índices de área foliar. Em consequência, o conhecimento da arquitetura foliar e o comportamento de uma

cobertura vegetal, em relação à radiação solar global (reflexão, transmissão, absorção), são boas indicações da potencialidade produtiva da planta em matéria seca.

Neste trabalho propõe-se comparar a evolução do sistema foliar de três variedades de soja (Glycine max (L.) Merrill), durante o ciclo vegetativo, através das frequências acumuladas de inclinação (q_i) das folhas e dos índices de área foliar (IAF), determinados em quatro épocas e estudar o comportamento da cobertura vegetal destas variedades, em relação à radiação solar global pela determinação dos valores instantâneos do coeficiente de reflexão (R), do coeficiente de absorção das folhas (A_c), da percentagem de radiação solar global transmitida (T) pelas folhas e da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa (α PHAR) contida na radiação solar global incidente sobre e abaixo da cobertura vegetal, após um dia de medida em cada variedade.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A importância da radiação solar para a vida é percebida através da manifestação desta energia a diversos níveis, pois é um dos fatores que condiciona a circulação geral da atmosfera, influi nas variações do tempo, determina as estações do ano e, além de tudo, é o fator mais importante para o estabelecimento da vida organizada na biosfera.

As plantas têm a faculdade de captar energia luminosa, propagada sob a forma de ondas eletromagnéticas, armazenando-a em moléculas de matéria viva, graças ao processo fotossintético. Deve-se a HALEY (1727) a descoberta do processo de fotossíntese, por ser o primeiro a indicar a contribuição da luz solar no processo de nutrição das plantas. A radiação solar global incidente acima de um dossel vegetativo distribui-se, dentro do mesmo, nas formas de radiação direta e de radiação difusa. Vários modelos foram propostos para descrever a extinção desta energia dentro da cobertura vegetal.

MONTEITH (1965) propôs um modelo conhecido como binomial. Segundo este, o fluxo de radiação solar global $I_{(L)}$, a qualquer nível do dossel vegetativo, pode ser determinado conhecendo-se o fluxo acima da cobertura vegetal ($I_{(0)}$), o índice de área foliar (L) acumulado a partir do limite superior da cobertura vegetal, o coeficiente de transmissão médio das folhas (τ) e a fração de radiação solar direta que atravessa uma camada de folhas de área unitária (S), com auxílio da equação:

$$I_{(L)} = I_{(0)} \left\{ S + (1 - S)\tau \right\}^L \quad (W \cdot m^{-2})$$

A partir da determinação da relação entre a fotossíntese (p) e a intensidade de luz (I), onde $p = (a + b/I)^{-S}$ (a e b sendo coeficientes) e do coeficiente de transmissão médio na faixa da PHAR (400 - 700 mμ), é possível estimar a fotossíntese bruta da cultura. Para a determinação da fotossíntese líquida deve ser conhecida a relação entre o índice de área foliar e a respiração. Assumindo que o fluxo de radiação, acima da cultura, segue uma função senoidal do tempo, MONTEITH (1965) estendeu a aplicação do modelo à escala de um dia. Este modelo é de alcance mais geral por abranger o caso da aplicação de lei de Beer ($I_{(L)} = I_{(0)} e^{-KL}$) (K coeficiente de extinção da cobertura vegetal) (MONSI e SAEKI, 1953). É bom lembrar que a lei de Beer é apenas válida para meios uniformes e homogêneos. MONTEITH (1965) considerou este modelo exponencial como o mais apropriado para a descrição da irradiância média no dossel vegetativo, sem levar em conta a variação da composição espectral dentro da cobertura. Aplicando a lei de Beer, MONSI e SAEKI (1953) determinaram, teoricamente, que uma comunidade de plantas, com folhas eretas, intercepta 54% menos radiação solar do que uma comunidade de plantas de folhas horizontais.

CHARTIER (1966) desenvolveu um modelo teórico

que diz respeito à variação da qualidade e quantidade de radiação solar global, tanto em função da geometria quanto em função das características de transmitância das folhas. CHARTIER (1969) realizou uma análise teórica da assimilação líquida da cobertura vegetal em uma área totalmente coberta, baseando-se no primeiro modelo e na relação entre a assimilação líquida (N) e irradiância das folhas (E).

NILSON (1971), depois de ter revisto as leis básicas que governam a teoria exponencial (MONSI e SAEKI, 1953), a teoria binomial de distribuição da radiação dentro da cobertura vegetal (MONTEITH, 1965) e analisando os campos de aplicação das respectivas teorias, expôs uma outra tese, baseada na "Cadeia de Markov", que considera coberturas de folhas distribuídas ao acaso, coberturas de folhas regularmente dispostas e coberturas de folhas ordenadas.

NICHIPROVICH (1962) provou teoricamente, dividindo o dossel vegetativo em três faixas, que o arranjo ideal do sistema foliar, para melhor interceptação da radiação solar, é aquele no qual existem as seguintes proporções de inclinação das folhas, com relação ao plano horizontal: a faixa inferior corresponderia a 13% das folhas do dossel e com ângulos de $0-30^{\circ}$; a faixa intermediária a 37% na classe de ângulos $30-60^{\circ}$ e a faixa superior com 50% na classe de ângulos $60-90^{\circ}$.

PEARSE et alii (1967) verificaram, em comunidade de plantas de aveia, que o rendimento fotossintético aumentava quando as folhas tendiam para uma posição vertical. A variação nas taxas de fotossíntese líquida, em folhas de diferentes inclinações, aumentava com o índice de área foliar (IAF). As folhas eretas permitiam uma melhor penetração da luz solar no dossel vegetativo. Isto se reveste de uma importância particular para plantas planófilas como é a soja (BLAD e BAKER, 1972a) e que se saturam de luz solar para índice de área foliar elevado ($IAF > 4$) (DORAISWAMY e ROSENBERG, 1974).

Todos os modelos citados podem ser aplicados a qualquer espécie e variedade de plantas, contanto que a cobertura vegetal seja caracteristicamente fixada no modelo. No tocante à soja (Glycine max (L.) Merrill), encontram-se vários trabalhos que propõem modelos, baseados tanto na arquitetura foliar quanto no comportamento fotossintético dos dosses vegetativos, correlacionados à radiação solar global.

SINGH et alii (1968) constataram, em duas variedades de soja ("Harosoy 63" e "Wayne"), que na parte inferior da cobertura o perfil de radiação líquida não segue a lei de Beer (MONSI e SAEKI, 1953) e independe do espaçamento de plantio. Na faixa de comprimento de onda de 400 a 700 mμ, o coeficiente de extinção decresce na razão de 35 para 1 da parte superior ao quarto inferior da cobertura. Verificaram que o fluxo de radiação solar ao nível do solo, na variedade de menor índice de área foliar (Harosoy), supera de 2% o da variedade de maior índice de área foliar (Wayne), independentemente da composição espectral.

LUXMOORE et alii (1971) num estudo sobre um cultivar de soja "Amsoy" notaram que, dentro da cobertura, 65% a 85% do fluxo de radiação solar global que atinge um plano qualquer procede do hemisfério superior. Mostraram que na faixa da radiação visível (400 - 700 mμ) a densidade de fluxo de radiação solar global, em qualquer plano horizontal, não é uma função linear da densidade de fluxo incidente sobre a cultura. Segundo o mesmo estudo, o coeficiente de extinção varia dentro da cobertura, invalidando a lei de Bouguer-Lambert que é, de fato, a mesma lei de Beer (MONSI e SAEKI, 1953). SAKAMOTO e SHAW (1967) depois de terem verificado a validade da lei de Beer aplicada a coberturas de soja, variedade "Hawkeye", sugeriram o uso desta lei para a estimativa do índice de área foliar "efetivo" (índice de área foliar que intercepta 90% da radiação solar).

BLAD e BAKER (1972a) estudando a evolução da arquitetura foliar no decorrer do ciclo de crescimento de duas variedades de soja ("Chippewa 64" e "Hark"), encontraram que as folhas não são direcionadas segundo azimutes preferenciais (de WITT, 1965) e que as coberturas são de tipo planófila, durante a maior parte do ciclo, exceto no início e no fim.

BLAD e BAKER (1972b), após três anos (ciclos) de estudo sobre a reflexão da radiação solar por uma variedade de soja ("Chippewa 64"), observaram que o coeficiente de reflexão da cobertura se situava entre 24 e 27%, enquanto o de uma folha é de 28,5% segundo MAXWELL (1969). Estabeleceram uma relação linear entre este coeficiente de reflexão e a percentagem de cobertura do solo, o qual aumentou de 1,3% para cada acréscimo de 10% de cobertura. A partir daí, preconizaram um método para a estimativa da porcentagem de cobertura do solo, através deste tipo de relação. Em condições de cobertura completa da superfície, uma baixa umidade do solo provoca uma redução da reflexão devido ao murchamento das folhas.

LEMEUR e ROSENBERG (1975) estudaram a influência da arquitetura foliar sobre o balanço de radiação solar na variedade de soja "Amsoy". Relataram que o coeficiente de reflexão da radiação fotossinteticamente ativa (α PHAR) decrescia com o índice de área foliar (IAF) para alturas de sol médias e elevadas, ao inverso do coeficiente de reflexão da radiação infravermelha próxima (α NIR). Para alturas de sol mais baixas, ambos α NIR e α PHAR cresciam com IAF.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Características do local

O experimento foi conduzido no Campo Experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em Piracicaba, a 22°42'39" latitude sul, 47°38'00 longitude oeste e 573 metros de altitude. O clima é do tipo Cw segundo a classificação de Wilhelm Koeppen. O solo é do tipo Terra Roxa Estruturada, série Luiz de Queiroz (Alfisol) segundo a 7a. aproximação (RANZANI et alii, 1966).

4.2. Material biológico

O material biológico era constituído de três parcelas plantadas com soja (Glycine max (L.) Merrill), corres

pondentes às variedades UFV-I, Viçoja e Santa Rosa, com 130 m² de área para cada canteiro. As parcelas foram semeadas no dia 12/11/1976 segundo a direção Norte-Sul, utilizando-se o espaçamento 60 cm x 5 cm.

A variedade UFV-I apresenta as seguintes características: hábito de crescimento determinado, ciclo de crescimento de 135 a 150 dias, pubescência marrom, flores roxas, sementes amarelas com 20,5% de óleo e 40,6% de proteínas e com hilo marrom (MIRANDA et alii, 1977).

A variedade Viçoja possui hábito de crescimento determinado, ciclo de crescimento de 150 a 175 dias, pubescência marrom, flores roxas, sementes amarelas com 21,7% de óleo, 40,0% de proteínas e com hilo marrom (MIRANDA et alii, 1977).

A variedade Santa Rosa se caracteriza por possuir hábito de crescimento determinado, ciclo de crescimento de 150 a 175 dias, pubescência marrom, flores brancas, sementes amarelas com 21,5% de óleo e 39,0% de proteínas e com hilo marrom (MIRANDA et alii, 1977).

4.3. Descrição da arquitetura foliar

4.3.1. Análise teórica

Como num dossel vegetativo de soja, as folhas não assumem azimutes preferenciais, a distribuição das frequências acumuladas de inclinação é suficiente para descrever a arquitetura foliar.

Supõe-se a cobertura vegetal dividida em camadas (v) e as folhas classificadas em classes de inclinação (i) (em relação ao horizontal). Seja f_{vi} a área das folhas da camada v e inclinação i , por unidade de área de solo coberto.

Representando o índice de área foliar da camada por f_v , tem-se:

$$f_v = \sum_i f_{vi} \quad (1)$$

Nesta camada, a frequência das folhas de inclinação i q_{vi} é calculada pela relação:

$$q_{vi} = \frac{f_{vi}}{\sum_i f_{vi}} = \frac{f_{vi}}{f_v} \quad (2)$$

Considerando todas as folhas no volume considerado, a frequência das folhas de inclinação i vem a ser q_i :

$$q_i = \frac{\sum_v f_{vi}}{\sum_v f_v} = \frac{f_i}{\sum_v f_v} \quad (3)$$

onde,

$\sum_v f_v = f$ é de fato o índice de área foliar da cobertura vegetal, ou seja, a área das folhas por unidade de área, de sua superfície do solo.

4.3.2. Operações para a determinação de q_i

4.3.2.1. Coleta das folhas

Foram realizadas 4 coletas de folhas, durante o ciclo vegetativo, para as três variedades aos 46, 62, 79 e 93 dias após o plantio.

Escolhia-se uma área representativa da cobertura vegetal e considerava-se como volume a ser amostrado, aquele correspondente a um paralelepípedo de base 50 cm x 60 cm e altura igual à das plantas amostradas. Este volume foi divi-

dido em três camadas a partir da superfície do solo: 0 a 40 cm, acima de 40 até 80 cm e acima de 80 cm. As folhas, cada camada, foram classificadas e coletadas segundo as seguintes classes de inclinação: 0 a 15°, acima de 15 até 30°, acima de 30 até 45°, acima de 45 até 60°, acima de 60 até 75° e acima de 75 até 90°.

4.3.2.2. Determinação da área total das folhas coletadas, em cada classe de inclinação

Dependendo do número de folhas em cada classe de inclinação, foi feita a amostragem retirando-se parte das folhas com um vasador de 1,1 cm de diâmetro interno. O número de círculos retirados ficou entre 10 e 100 para cada amostra. As parcelas retiradas com o vasador e o resto das folhas de cada amostra, foram secados em estufa a 70°C durante 48 horas e depois pesados.

Se $\underline{x}$ é a área de cada círculo retirado pelo vasador e $\underline{n}$ o número de círculos, $\underline{n \cdot x}$ vai representar a área total dos círculos. Sejam $\underline{p}$ e $\underline{P}$ os pesos respectivos dos círculos e do resto da amostra, a área total (A) das folhas da amostra é dada pela fórmula:

$$A = \frac{n \cdot x \cdot P}{p} + n \cdot x \quad (4)$$

sendo que A equivale a f_{v_i} da relação (1). Após a determinação sucessiva das f_{v_i} basta seguir a ordem dos cálculos do item 4.3.1.

- 4.4. Determinação do coeficiente de absorção (A_c) da radiação solar global incidente nas folhas e da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa (α PHAR) acima e abaixo da cultura

4.4.1. Considerações teóricas

A radiação solar, após os múltiplos processos de reflexão, de absorção e de transmissão, pelos constituintes da atmosfera, atinge a cobertura vegetal sob as formas de radiação direta (S) e radiação difusa (D). No caso de céu totalmente encoberto, somente sob a forma de radiação difusa. A radiação solar global de (onda curta) ($K^\downarrow$) pode ser assim representada:

$$K^\downarrow = S + D \quad (5)$$

A radiação solar global ($K^\downarrow$) ao penetrar na cobertura vegetal, sofre novos processos de reflexão, de absorção e de transmissão. O coeficiente de reflexão (R) da cobertura vegetal é dado pela relação:

$$R = \frac{K^\uparrow}{K^\downarrow} \times 100 \quad (6)$$

onde, $K^\uparrow$ é a fração de radiação solar refletida.

O balanço de radiação solar global de (onda curta), acima da cultura, é representado por:

$$K^* = K^\downarrow - K^\uparrow = K^\downarrow \left(1 - \frac{R}{100}\right) \quad (7)$$

Chamando-se de $K_o^\downarrow$ a radiação solar global medida ao nível do solo, a percentagem de $K_o^\downarrow$ em relação a $K^\downarrow$ é a percentagem de radiação solar transmitida pelas folhas (T), dada por:

$$T = \frac{K_O^\downarrow}{K^\downarrow} \times 100 \quad (8)$$

A radiação solar global absorvida pelas folhas (A) será estimada pela relação:

$$A = K^* - K_O^\downarrow \quad (9)$$

o que permite calcular o coeficiente de absorção das folhas (A_c):

$$A_c = \frac{A}{K^\downarrow} \times 100 \quad (10)$$

Levando-se em conta a lei de conservação da energia tem-se que:

$$A_c = 100 - T - R \quad (10a)$$

A radiação solar absorvida pelos vegetais é utilizada nos processos fisiológicos como evapotranspiração, aquecimento e fotossíntese. Das radiações monocromáticas que compõem o espectro da radiação solar, aquelas de comprimento de onda entre 400 e 700 mμ são consideradas como fotossinteticamente ativas (PHAR). Sendo $K_{PHAR}^\downarrow$ e $K(O)_{PHAR}^\downarrow$ respectivamente, a radiação solar global PHAR acima da cultura e ao nível do solo sob as plantas, as suas estimativas podem ser obtidas a partir das seguintes equações:

$$K_{PHAR}^\downarrow = K^\downarrow - K_{\rightarrow 400}^\downarrow - K_{700 \leftarrow}^\downarrow \quad (11)$$

e

$$K(O)_{PHAR}^\downarrow = K_O^\downarrow - K_{\rightarrow 400}^\downarrow(O) - K_{700 \leftarrow}^\downarrow(O) \quad (12)$$

onde, $K_{\rightarrow 400}^{\downarrow}$ = radiação solar global de comprimentos de onda inferiores a 400 mμ, medida sobre a cobertura vegetal.

$K_{700\leftarrow}^{\downarrow}$ = radiação solar global de comprimentos de onda superiores a 700 mμ, medida sobre a cobertura vegetal.

$K_{700\leftarrow}^{\downarrow}(0)$ = radiação solar global de comprimentos de onda superiores a 700 mμ, medida abaixo da cobertura vegetal.

4.4.2. Considerações práticas para a determinação da PHAR

Na prática, os aparelhos usados para a medida de $K^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$ e $K_O^{\downarrow}$ são providos de um filtro tipo WG7 transparente aos comprimentos de onda de 285 a 2.800 mμ. Na medida de $K_{700\leftarrow}^{\downarrow}$ e de $K_{700\leftarrow}^{\downarrow}(0)$ são utilizados filtros tipo RG695, transparentes apenas às radiações de comprimentos de onda de 700 a 2.800 mμ (NIR). Como as radiações de comprimentos de onda de 700 a 2.800 mμ são medidas com filtro RG695, achou-se conveniente substituir, daqui para frente, $K_{700\leftarrow}^{\downarrow}$ e $K_{700\leftarrow}^{\downarrow}(0)$ por $K_{RG695}^{\downarrow}$ e $K_{RG695}^{\downarrow}(0)$ respectivamente.

Como os fluxos correspondentes a $(K_{\rightarrow 400}^{\downarrow})$ e $(K_{\rightarrow 400}^{\downarrow}(0))$ são muito menores que os demais, as equações (11) e (12) podem ser escritas assim:

$$K_{PHAR}^{\downarrow} = K^{\downarrow} - K_{RG695}^{\downarrow} \quad (11a)$$

$$K_{PHAR}^{\downarrow}(0) = K_O^{\downarrow} - K_{RG695}^{\downarrow} \quad (12a)$$

Do total de radiação solar global que incide sobre a cultura pode-se estimar as percentagens fotossinteticamente ativa (α PHAR) e não ativa (α NIR), assim como a percentagem de radiação não fotossinteticamente ativa (T_{NIR}) que atinge a superfície do solo sob a cultura, com o auxílio das seguintes relações:

$$\alpha\text{PHAR} = \frac{K_{\text{PHAR}}^{\downarrow}}{K^{\downarrow}} \times 100 \quad (13)$$

$$\alpha\text{NIR} = \frac{K_{\text{RG695}}^{\downarrow}}{K^{\downarrow}} \times 100 \quad (14)$$

$$e \quad T_{\text{NIR}} = \frac{K(O)_{\text{RG695}}^{\downarrow}}{K^{\downarrow}} \times 100 \quad (15)$$

4.4.3. Medidas de $K^{\downarrow}$, $K^{\uparrow}$, $K_O^{\downarrow}$, $K_{\text{RG695}}^{\downarrow}$ e $K(O)_{\text{RG695}}^{\downarrow}$

As medidas dos vários fluxos de radiação foram efetuadas nos seguintes dias: 17/02/1977, 97 dias após o plantio, para a variedade UFV-I; 18/02/1977, 98 dias após o plantio, na variedade Viçosa e 22/02/1977, 102 dias após o plantio, para a variedade Santa Rosa. Estes dias eram de céu limpo e as medidas foram feitas até, pelo menos, aproximadamente 14 horas TSV.

Foram utilizados 2 piranômetros Black and White modelo 8-48 e 2 piranômetros espectrais de precisão, do "Eppley Laboratory Inc., USA". Os impulsos foram registrados por um aparelho SPEEDOMAX da "Leeds and Northrup - USA". Os piranômetros Black and White possuíam as características seguintes: sensibilidade $7,5 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, impedância 300 ohms, tempo de resposta 3 a 4 segundos. Os piranômetros espectrais de precisão tinham uma sensibilidade de $5 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, com impedância de 300 ohms, tempo de resposta de 1 segundo e eram

calibrados tendo como referência o Padrão Primário do grupo dos Pirheliômetros Angström.

Para se medir $K^\downarrow$ e $K^\uparrow$ foram utilizados os 2 piranômetros Black and White providos de filtro WG7 acoplados e montados horizontalmente a 50 cm acima da cultura, com o sensor dirigido para cima, o outro com o sensor dirigido para baixo. Para a medida de $K_{RG695}^\downarrow$, $K(O)_{RG695}^\downarrow$ e $K_O^\downarrow$ os dois piranômetros espectrais de precisão, inclusive um com um filtro RG695, de fator de transmissão 1,09, o outro com um filtro WG7, foram montados num equipamento que oscilava de cima para baixo da cultura ou em sentido inverso. Uma série de leituras instantâneas era feita de 30 em 30 minutos.

Adotou-se a terminologia e unidades recomendadas pela Comissão de Instrumentos e Métodos de Observação da Organização Meteorológica Mundial e os valores obtidos foram ajustados à escala absoluta de radiação (Fröhlich, 1973).

5. RESULTADOS

5.1. Arquitetura foliar

As tabelas 1, 3 e 5 e as figuras 1, 2 e 3 traduzem a evolução do sistema foliar das três variedades de soja: UFV-I, Viçosa e Santa Rosa, durante o período de estudos.

As curvas das figuras 4, 5 e 6 retratam a distribuição comparada das inclinações das folhas nas três variedades de soja aos 46, 62, 79 e 93 dias após o plantio e os dados relativos às frequências de inclinação das folhas, observados nos mesmos períodos se encontram nas tabelas 1, 3, 5 e 7.

A figura 8 apresenta as curvas que descrevem a evolução do índice de área foliar nas três variedades, aos 46, 62, 79 e 93 dias após o plantio e foram construídas com os dados das tabelas 2, 4, 6 e 8.

Tabela 1. Frequências de inclinação das folhas, aos 46 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - frequência da classe

b - frequência acumulada

Classe de inclinação		0-15°	15-30°	30-45°	45-60°	60-75°	75-90°
UFV-I	a	0,591	0,171	0,098	0,074	0,029	0,037
	b	0,591	0,762	0,860	0,934	0,963	1,000
Viçôja	a	0,768	0,060	0,076	0,043	0,041	0,012
	b	0,768	0,828	0,904	0,947	0,988	1,000
Santa Rosa	a	0,828	0,057	0,054	0,019	0,010	0,032
	b	0,828	0,885	0,939	0,958	0,968	1,000

Tabela 2. Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 46 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - IAF da camada

b - IAF acumulado

Camada (cm acima do solo)	UFV-I		Viçôja		Santa Rosa	
	a	b	a	b	a	b
> 80	0	0	0	0	0	0
80 - 40	0	0	0	0	0,75	0,79
40 - 0	1,03	1,03	1,52	1,52	0,96	1,75

Tabela 3. Frequências de inclinação das folhas, aos 62 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - frequência da classe

b - frequência acumulada

Classe de inclinação		0-15°	15-30°	30-45°	45-60°	60-75°	75-90°
UFV-I	a	0,727	0,034	0,158	0,031	0,019	0,031
	b	0,727	0,761	0,919	0,950	0,969	1,000
Viçosa	a	0,611	0,042	0,227	0,042	0,038	0,040
	b	0,611	0,653	0,88	0,922	0,960	1,000
Santa Rosa	a	0,711	0,042	0,124	0,023	0,026	0,074
	b	0,711	0,753	0,877	0,9	0,926	1,000

Tabela 4. Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 62 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - IAF da camada

b - IAF acumulado

Camada (cm acima do solo)	UFV-I		Viçosa		Santa Rosa	
	a	b	a	b	a	b
> 80	0	0	0	0	0	0
80 - 40	0,98	0,98	0,82	0,82	0,83	1,15
40 - 0	2,29	3,27	2,2	3,02	1,97	2,80

Tabela 5. Frequências de inclinação das folhas, aos 79 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - frequência da classe

b - frequência acumulada

Classe de inclinação		0-15°	15-30°	30-45°	45-60°	60-75°	75-90°
UFV-I	a	0,670	0,090	0,049	0,091	0,100	0,000
	b	0,670	0,760	0,809	0,900	1,000	1,000
Viçoja	a	0,562	0,062	0,043	0,055	0,237	0,041
	b	0,562	0,624	0,667	0,722	0,959	1,000
Santa Rosa	a	0,575	0,061	0,198	0,022	0,053	0,091
	b	0,575	0,626	0,834	0,856	0,909	1,000

Tabela 6. Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 79 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - IAF da camada

b - IAF acumulado

Camada (cm acima do solo)	UFV-I		Viçoja		Santa Rosa	
	a	b	a	b	a	b
> 80	0,39	0,39	0,48	0,48	0	0
80 - 40	2,84	3,23	3,30	3,78	2,48	2,57
40 - 0	2,25	5,48	0,83	4,61	1,97	4,35

Tabela 7. Frequências de inclinação das folhas, aos 93 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - frequência da classe

b - frequência acumulada

Classe de inclinação		0-15°	15-30°	30-45°	45-60°	60-75°	75-90°
UFV-I	a	0,430	0,100	0,152	0,148	0,140	0,030
	b	0,430	0,530	0,582	0,830	0,970	1,000
Viçosa	a	0,504	0,030	0,136	0,094	0,136	0,100
	b	0,504	0,534	0,670	0,764	0,900	1,000
Santa Rosa	a	0,366	0,109	0,110	0,109	0,167	0,139
	b	0,366	0,475	0,585	0,694	0,861	1,000

Tabela 8. Índice de Área Foliar (IAF), em $m^2 \cdot m^{-2}$, aos 93 dias após o plantio, nas 3 variedades de soja.

a - IAF da camada

b - IAF acumulado

Camada (cm acima do solo)	UFV-I		Viçosa		Santa Rosa	
	a	b	a	b	a	b
> 80	2,30	2,30	0,35	0,35	2,43	2,43
80 - 40	1,70	4,00	4,44	4,79	2,41	4,84
40 - 0	0	4,00	0,88	5,67	0	4,84

Tabela 9. Valores medidos de $K^\dagger$, K^* , $K_O^\dagger$, $K_{RG695}^\dagger$ e de $K(O)_{RG695}^\dagger$ em $W \cdot m^{-2}$ e estimados de $K^{PHAR\dagger}$, K^* , A e de $K(O)^{PHAR}$ em $W \cdot m^{-2}$ e de R, αNIR , $\alpha PHAR$, T, T_{NIR} e de A_c em percentagem.

VARIEDADE: UFV-1

DIA: 17/02/1977

Altura do sol (h) em °C	Tempo Solar Verdadeiro (TSV) (em horas)	K ⁺	K ⁺ em %K ⁺	K ⁺	R	K ⁺	K ⁺	K ⁺	T	K ⁺ R3695	αNIR	K ⁺ PHAR	αPHAR	A	A _C	K(O) ⁺ R3695	T _{NIR}	K(O) ⁺ PHAR
33	8:06	535	100	153	28,6	382	16	3,0	294	54,9	241	45,1	366	68,4	16	3,0	0	
40	8:36	649	100	167	25,7	482	21	3,2	345	53,2	304	46,8	461	71,0	21	3,2	0	
47	9:06	751	100	195	26,0	556	32	4,3	393	52,3	358	47,7	524	69,8	—	—	—	
54	9:36	815	100	195	23,9	620	32	3,9	437	53,6	378	46,4	588	72,1	26	3,2	6	
61	10:06	922	100	196	21,3	726	49	5,3	483	52,4	439	47,6	677	73,4	32	3,5	17	
67	10:36	972	100	196	20,2	776	43	4,4	527	54,2	445	45,8	733	75,4	43	4,2	6	
73	11:06	1092	100	196	17,9	896	43	4,0	548	50,2	544	49,8	853	78,1	43	4,0	0	
78	11:36	1050	100	223	21,2	827	65	6,2	571	54,4	479	45,6	762	72,6	65	6,2	0	
79	12:06	1126	100	223	19,8	903	69	6,1	637	56,6	489	43,4	834	74,1	65	5,8	4	
76	12:36	1126	100	223	19,8	903	76	6,7	658	58,4	468	41,6	827	73,4	65	5,8	11	
71	13:06	1037	100	223	21,5	814	65	5,2	587	56,6	450	43,4	749	72,2	62	5,0	3	
65	13:36	972	100	223	22,9	749	43	4,4	548	56,4	424	43,6	706	72,6	43	4,0	0	
58	14:06	922	100	196	21,3	726	43	4,7	527	57,2	395	42,8	683	74,1	43	4,0	0	
51	14:36	896	100	196	21,9	700	32	3,6	505	56,4	391	43,6	668	74,5	22	2,5	10	
44	15:06																	
38	15:36	563	100	140	24,9	423	21	3,7	307	54,5	256	45,5	402	71,4	21	3,7	0	
31	16:06	513	100	112	21,8	401	21	4,1	263	51,3	250	48,7	380	74,1	11	2,1	10	
24	16:36	410	100	84	20,5	326	0	0	186	45,4	224	54,6	326	79,5	0	0	0	
Valores médios diários		100			22,3			4,5		54,0		46,0		73,3			4,0	

Tabela 10. Valores medidos de K^+ , K^* e K_{RG695}^+ em $W \cdot m^{-2}$ e estimado de K^* em $W \cdot m^{-2}$ e R, α_{NIR} e α_{PHAR} em percentagem.

VARIETADE: VIÇÓJA

DIA: 18/02/1977

Altura do sol (h) em $^{\circ}C$	Tempo Solar Verdadeiro (TSV) (em horas)	K^+	K^+ em % K^+	K^+	R	K^*	K_{RG695}^+	α_{NIR}	K_{PHAR}^+	α_{PHAR}
33	8:06	514	100	111	21,6	403	274	54,3	240	45,7
40	8:36	614	100	111	18,1	503	330	53,7	284	46,3
47	9:06	717	100	117	16,3	600	384	53,6	333	46,4
54	9:36	794	100	140	17,6	654	424	53,4	370	46,6
61	10:06	871	100	175	20,1	696	483	55,4	388	44,6
67	10:36	922	100	175	18,9	747	515	55,9	407	44,1
73	11:06	972	100	175	18,0	797	548	56,4	424	43,6
77	11:36	1024	100	175	17,1	849	571	55,8	453	44,2
79	12:06	1076	100	224	20,9	852	592	55,0	484	45,0
76	12:36	1101	100	196	17,8	906	614	55,8	487	44,2
71	13:06	1126	100	196	17,4	930	637	56,6	489	43,4
65	13:36	1024	100	196	19,1	828	577	56,3	447	43,7
58	14:06	871	100	175	20,1	696	483	55,4	388	44,6
51	14:36	1084	100	175	16,1	909	483	44,6	601	55,4
44	15:06	514	100	111	21,6	403	241	46,9	273	53,1
Valores médios diários			100		18,7			53,9		46,1

Tabela 11. Valores medidos de K^+ , K^* , K_O^+ , K_O^* , K_O^{RG695} , $K(O)^+$ RG695 em $W \cdot m^{-2}$ e estimados de K^{PHAR} , K^* , A e de $K(O)^{PHAR}$ em $W \cdot m^{-2}$ e de R, α NIR, α PHAR, T , T_{NIR} e A_C em percentagem.

VARIEDADE: SANTA ROSA

DIA: 22/02/1977

Altura do sol (h) em $^{\circ}C$	Tempo Solar Verdadeiro (TSV) (em horas)	K^+	K^+ em $\%K^+$	K^+	R	K^*	K_O^+	T	K_O^{RG695}	α NIR	K^{PHAR}	α PHAR	A	A_C	$K(O)^+$ RG695	T_{NIR}	$K(O)^+$ PHAR
33	8:06	357	100	84	23,5	273	40	11,2	185	51,8	172	48,2	233	65,3	34	9,5	6
40	8:36	598	100	139	23,2	459	54	9,0	328	54,8	270	45,2	405	67,7	49	8,2	5
47	9:06	751	100	167	22,2	584	---	---	415	55,3	336	44,7	---	---	---	---	---
54	9:36	815	100	167	20,5	648	75	9,2	443	54,4	372	45,6	573	70,3	71	9,0	4
60	10:06	871	100	168	19,3	703	54	6,2	483	55,4	388	44,6	649	74,5	53	6,1	2
67	10:36	922	100	181	19,6	741	65	7,0	505	54,8	417	45,2	676	73,3	65	7,0	0
72	11:06	972	100	181	18,6	791	65	6,7	538	55,3	434	44,7	726	74,7	65	6,7	0
76	11:36	1102	100	223	20,2	879	---	---	615	55,8	487	44,2	---	---	---	---	---
78	12:06	1203	100	223	18,5	980	---	---	658	54,7	545	45,3	---	---	---	---	---
75	12:36	1154	100	223	19,3	931	86	7,4	592	51,3	562	48,7	845	73,2	86	7,4	0
70	13:06	1050	100	196	18,7	854	76	7,2	548	52,2	502	47,8	778	74,1	76	7,2	0
64	13:36	1071	100	196	18,3	875	70	6,5	548	51,2	523	48,8	805	75,2	65	6,1	5
Valores médios diários		100	20,2	7,8	53,9	46,1	63,7	7,5

Fig. 1. Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade UFV-I.

Fig. 2. Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade Viçoja.

Fig. 3. Evolução da distribuição das folhas durante o ciclo vegetativo da variedade Santa Rosa.

Fig. 4. Distribuição das folhas, 46 dias após o plantio, nas 3 variedades.

Fig. 5. Distribuição das folhas, 62 dias após o plantio, nas 3 variedades.

Fig. 6. Distribuição das folhas, 79 dias após o plantio, nas 3 variedades.

Fig. 7. Distribuição das folhas, 93 dias após o plantio, nas 3 variedades.

Fig. 8. Variação do índice de área foliar, durante o ciclo vegetativo, nas três variedades.

5.2. Radiação Solar

As tabelas 9 e 11 mostram os valores instantâneos das medidas de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K_{RG695}^\downarrow$, $K_O^\downarrow$ e $K(0)_{RG695}^\downarrow$ e os valores das estimativas de K^* , A , $K_{PHAR}^\downarrow$, R , A_c , T , α_{PHAR} , α_{NIR} e T_{NIR} , obtidos nas variedades UFV-I e Santa Rosa respectivamente aos 97 dias (17/02/1977) e 102 dias (22/02/1977) após o plantio.

A tabela 10 apresenta os valores instantâneos das medidas de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$ e $K_{RG695}^\downarrow$ e os valores instantâneos das estimativas de $K^\uparrow$, K^* , $K_{PHAR}^\downarrow$, R , α_{PHAR} e α_{NIR} , obtidos na variedade Viçosa aos 98 dias (18/02/1977) após o plantio.

As curvas das figuras 9 e 11 representam as variações, durante o período diurno, de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K_{RG695}^\downarrow$, $K_{PHAR}^\downarrow$, $K_O^\downarrow$, $K(0)_{RG695}^\downarrow$, K^* e A nas variedades UFV-I e Santa Rosa aos 97 e 102 dias após o plantio e as curvas das 12 e 14 as variações de R , A_c , α_{NIR} , α_{PHAR} , T e T_{NIR} nas mesmas condições. As curvas da figura 10 descrevem as variações, durante o período diurno, de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K_{RG695}^\downarrow$, $K_{PHAR}^\downarrow$ e K^* na variedade Viçosa, aos 98 dias após o plantio e as curvas da figura 13 as variações de R , α_{NIR} e α_{PHAR} nas mesmas condições. A figura 15 mostra a variação comparada de $K^\downarrow$, durante os três dias de medida e a figura 16 as variações de R , A_c , α_{PHAR} , T e T_{NIR} , obtidos nas diferentes variedades estudadas.

LEGENDA:

- $K^\downarrow$
 K^*
 $K^\downarrow_{RG695}$
 A
 $K^\uparrow$
 $K^\downarrow_{PHAR}$
 $K^\downarrow_O$
 $K(O)^\downarrow_{RG695}$

- 36 -

Fig. 9. Variação de $K^\downarrow$, K^* , $K^\downarrow_{RG695}$, $K^\downarrow_{PHAR}$, A , $K^\uparrow$, $K^\downarrow_O$ e de $K(O)^\downarrow_{RG695}$, durante o dia 17/02/1977, na variedade UFV-I.

LEGENDA:

$K^\downarrow$
 $K^\uparrow$
 $K^\downarrow_{RG695}$
 K^*
 $K^\downarrow_{PHAR}$

- 37 -

Fig. 10. Variação de $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K^\downarrow_{RG695}$, $K^\downarrow_{PHAR}$ e $K^\uparrow$ durante o dia 18/02/1977, na variedade Viçoja.

Fig. 11. Variação de $K^\downarrow$, K^* , $K^\downarrow_{RG695}$, $K^\downarrow_{PHAR}$, $K^\uparrow$, A, $K^\downarrow_O$ e $K(O)^\downarrow_{RG695}$, durante o dia 22/02/1977, na variedade Santa Rosa.

LEGENDA: $\times$ A_C

— R

— α PHAR

..... T

— $K\downarrow\%$

-39-

***** T_{NIR}

— Δ α NIR

Fig. 12. Variação de A_C , α PHAR, α NIR, R , T e T_{NIR} , durante o dia 17/02/1977, na variedade UFV-I.

LEGENDA: —·— R

—○— α PHAR

—△— α NIR

— K⁺%

-40-

Fig. 13. Variação de α PHAR, α NIR e R, durante o dia 18/02/1977, na variedade Viçoja.

LEGENDA:

- x— A_C
- o— α PHAR -41-
- △— T_{NIR}
- R
- $K^{\dagger}\%$
- T
- *** α_{NIR}

Fig. 14. Variação de A_C , α NIR, α PHAR, R, T e T_{NIR} , durante o dia 22/02/1977, na variedade Santa Rosa.

Fig. 15. Variação de K^+ durante os dias de medida.

LEGENDA

Fig. 16. Variação dos R, A_c , α PHAR e T respectivos obtidos nas variedades.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Evolução do sistema foliar

6.1.1. Inclinação das folhas

Na variedade UFV-I, as folhas que tendiam para a posição horizontal ao 46º dia após o plantio, acentuavam esta tendência até o 79º dia. No 93º dia após o plantio foi observado que apenas 58% da área foliar se encontrava com uma inclinação inferior a 45° (fig. 1).

Na figura 2, as curvas mostram que no 46º dia, 77% da área foliar na variedade Viçosa pertence à classe de inclinação $0-15^{\circ}$ e no 93º dia apenas 53% da área foliar apresentava uma inclinação inferior a 30° . Notou-se a passagem progressiva das folhas da posição quase horizontal para uma posição mais vertical com o decorrer do ciclo vegetativo.

Na variedade Santa Rosa, as curvas a, b, c e d da figura 3 se destacam distintamente: considerando-se o 46º dia após o plantio, 83% da área foliar encontrava-se na classe de inclinação 0-15°. Com o decorrer do ciclo, no 93º dia, observou-se que 37% da área foliar ficou na classe de inclinação 0-15°. Nesta idade a distribuição das folhas se apresenta mais regularmente nas classes de inclinação. Nas três variedades verificou-se que, na maior parte do ciclo de crescimento, a tendência geral das folhas foi a de assumir uma posição qua se horizontal, que vai se modificando no decorrer do ciclo. BLAD e BAKER (1972) chegaram à mesma conclusão trabalhando com outras variedades de soja. O autor acha que isto se deveu a uma adaptação das plantas para permitir melhor penetração da radiação solar até as folhas mais baixas, enquanto o índice de área foliar aumenta (fig. 8). Um fato fenológico observado, que merece ser assinalado, foi que as folhas se tornaram mais espessas e de coloração verde mais escura, próximo ao florescimento.

Considerando-se todo o período de estudo, a variedade UFV-I demonstrou uma tendência mais acentuada das folhas para a posição horizontal (condição planofilar) seguida pela variedade Viçõja e finalmente pela Santa Rosa. Somente após o 93º dia é que a variedade Viçõja apresentou as folhas com maior condição planofilar.

6.1.2. Índice de área foliar

Observou-se que, nas três variedades, o índice de área foliar cresceu linearmente com o tempo até os 79 dias após o plantio (fig. 8). A partir deste momento houve um ligeiro decréscimo na taxa de aumento do IAF, nas variedades Viçõja e Santa Rosa. Na variedade UFV-I, aos 79 dias, observou-se o valor máximo de seu IAF (5,48). O maior IAF encontrado, no período em estudo, foi na variedade Viçõja (5,67), aos 93

dias após o plantio. A variedade Santa Rosa apresentou o maior IAF das três aos 46 dias após o plantio. Na variedade UFV-I encontraram-se os maiores valores de IAF das três aos 62 e 79 dias após o plantio.

6.2. Comportamento relativo à radiação solar da cobertura nas três variedades

6.2.1. Comparação da variação das grandezas $K^\downarrow$, $K^\uparrow$, $K^\downarrow_{RG695}$, $K^\downarrow_{PHAR}$, K^* , $K^\downarrow_O$, A e $K(O)^\downarrow_{RG695}$ no período diurno

Analisando as figuras 9, 10 e 11 verifica-se que a radiação solar refletida ($K^\uparrow$) é praticamente independente da altura do sol, com pequenas variações do nascer do sol até às 9 horas e após as 15 horas. Todas as demais grandezas aumentaram com a altura do sol em condições de céu limpo. Nos três dias de medidas, os valores máximos da radiação solar global (fig. 15) e das outras grandezas, não coincidiram com a altura máxima do sol. Deve-se isto, ao aparecimento de nuvens do gênero Cumulus no período vespertino, o que acarretou irregularidades nos fluxos de radiação. É de se notar que a radiação transmitida pelas folhas foi, essencialmente, radiações da banda do infra-vermelho próximo (figuras 9 e 11).

6.2.2. Variação de R, A_c , T, T_{NIR} , α_{NIR} e α_{PHAR}

Na variedade UFV-I o coeficiente de reflexão (R) variou inversamente com a altura do sol (curva e da fig. 12). Na variedade Santa Rosa (R) apresentou uma tendência a diminuir ao longo do dia (curva e da fig. 14). Quanto à variedade

Viçosa R ficou praticamente constante ao longo do dia. Ao nível das três variedades, a qualquer instante, o coeficiente de reflexão da variedade UFV-I, média diária igual a 22,3%, superou o das outras variedades.

O coeficiente de absorção (A_c) cresceu, de uma maneira geral, com a altura do sol (curvas b das figuras 12 e 14), depois decresceu ligeiramente entre 11 e 13 horas, devido, com certeza, às incidências pequenas dos raios solares, ao murchamento temporário e à saturação em radiação solar da maioria das folhas. Nota-se também, a variação correspondente do coeficiente de absorção (A_c) e da fração de radiação fotossinteticamente ativa (α PHAR) (curvas b e d da fig. 12), embora na variedade Santa Rosa isto não tenha se verificado no período compreendido entre 8 e 9 horas (curvas b e d da fig. 14). A expliação da correspondência entre a variação de A_c e de α PHAR procede do fato da absorção pelas folhas ser elevada na faixa da PHAR. Percebe-se, pela comparação das curvas d e e das figuras 12, 13 e 14, que o coeficiente de reflexão e a fração de radiação fotossinteticamente ativa variam em sentido inverso. A diminuição da fração de radiação (NIR) sobretudo à tarde (curva c das figuras 12, 13 e 14), provavelmente é devida a uma modificação da composição espectral da radiação solar global, pela absorção devida ao vapor d'água existente na atmosfera e às nuvens que se formam. A cobertura vegetal é atingida por uma proporção maior de radiação difusa PHAR, resultando daí uma maior absorção.

A percentagem da radiação solar transmitida pelas folhas, na variedade UFV-I, foi uma função crescente da altura do sol e uma função decrescente na variedade Santa Rosa até 10 horas. Esta acusou um ligeiro decréscimo entre 10 e 11 horas e voltou a ser uma função crescente da altura do sol (curvas f das figuras 9 e 11). Esta percentagem foi maior na variedade Santa Rosa (média diária igual a 7,8%) que na variedade UFV-I (média diária igual a 4,5%). Analisando a tabela 8 e

a figura 8 verifica-se que o índice de área foliar da variedade UFV-I foi maior que o da Santa Rosa, sendo que a variedade Santa Rosa possuía, na época, mais folhas de tendência ereta (fig. 7). As curvas f e g das figuras 9 e 11 quase se confundem, o que significa menor proporção de radiação PHAR transmitida pelas folhas ao nível do solo. Aliás, o valor máximo de T encontrado é 11,2% o que é muito reduzido. Isto quer dizer que as folhas mais baixas, na sombra, não recebem energia suficiente e atingem rapidamente a senescência (SAKAMOTO e SHAW, 1967), resultando que no final do ciclo só existam folhas acima de 40 cm a partir do solo (tabela 8).

7. CONCLUSÕES

1) As três variedades de soja se apresentaram como planófilas na maior parte do ciclo de crescimento, tendência que diminuiu com o aumento do índice de área foliar.

2) A variedade UFV-I se revelou de tendência planófila mais acentuada, seguida pelas variedades Viçoja e Santa Rosa.

3) Nas três variedades, o índice de área fo-
liar cresceu linearmente com o tempo, até o 79º dia após o plan-
tio.

4) Na variedade UFV-I o índice de área foliar
culminou mais cedo (aos 79 dias após o plantio) que nas duas ou-
tras variedades.

5) Todos os fluxos de radiação solar global in-
cidentes, considerados neste estudo, apresentaram-se como fun-
ções crescentes da altura do sol.

6) A radiação refletida pela cobertura vegetal foi uma função crescente da altura do sol, para baixos valores de h , e tendeu a assumir valores constantes para alturas do sol elevadas.

7) Na variedade UFV-I o coeficiente de reflexão variou inversamente com a altura do sol, e nas outras variedades esta variação não dependeu da elevação solar.

8) Em qualquer instante do período observado, o coeficiente de reflexão foi maior na variedade UFV-I (média diária igual a 22,3%) do que nas variedades Viçoja (média diária igual a 18,7%) e Santa Rosa (média diária igual a 20,2%).

9) O coeficiente de absorção das folhas cresceu de maneira geral com a altura do sol até mais ou menos 11 horas e depois ficou constante entre 11 e 13 horas. O valor médio diário de A_c , encontrado, foi de 73,3% na variedade UFV-I e de 63,7% na variedade Santa Rosa.

10) A percentagem de radiação solar global transmitida pelas folhas foi geralmente uma função crescente da altura do sol, sendo maior na variedade Santa Rosa (média diária igual a 7,8%) que apresentou folhas com menores ângulos em relação à vertical do que na variedade UFV-I (média diária igual a 4,5%).

11) A transmissão da radiação solar global pelas folhas foi pequena na PHAR.

8. SUMMARY

The canopies of three varieties of Soybean (Glycine max (L.) Merrill), namely, UFV-I, Viçosa and Santa Rosa, all planted in Brazil, were studied from the standpoint of their foliage system evolution and response to reflection, transmission and absorption of solar radiation.

From the determination of leaf inclination frequencies at 46, 62, 79 and 93 days after planting, it was found that the three have a well marked planophile tendency which decreases with increasing leaf area index (LAI). In variety UFV-I, which has an average vegetative cycle, this index was attained much earlier than in the other two which have longer vegetative cycles.

Measurements of solar energy fluxes were taken, for each variety, at intervals of 30 minutes during daytime, on separate days.

From the results thus obtained it was concluded that:

— Foliage absorption coefficient (A_c) of global solar radiation behaves as an increasing function of solar elevation (h) at high incidences of the sun's rays and tends to be constant around 12 hours (local time), depending, certainly, upon small incidences of the sun's rays, radiation saturation and temporary wilting of most leaves at that moment. This coefficient varies in the same manner as photosynthetically active radiation percentage (α PHAR), a consequence of preferential absorption of wavelengths of the PHAR by leaves. It is higher in variety UFV-I (day mean = 73,3%) than in variety Santa Rosa (daily mean = 63,7%).

— The coefficient of reflection of the global solar radiation is higher in variety UFV-I. In this variety, it assumes a decreasing function of solar elevation, though in the other two, it varies independent of h .

— Percentage of global solar radiation transmitted by the leaves is an increasing function of h in variety UFV-I (daily mean = 4,5%). In variety Santa Rosa (daily mean = 7,8%) it decreases until 10 hours and remains constant afterwards. Considering the PHAR, the transmission of global solar radiation by the leaves is almost non-existent.

9. RESUME

Le couvert végétal de trois variétés de soja (Glycine max (L.) Merrill), UFV-I, Viçoja et Santa Rosa, cultivées au Brésil, a fait l'objet d'études du point de vue de l'évolution de l'architecture foliaire durant le cycle végétatif et de la réponse (réflexion, absorption et transmission) au rayonnement solaire.

A partir de la détermination des fréquences d'inclination foliaire, 46, 62, 79 et 93 jours après le semis on a vérifié que les trois variétés sont de tendance planophile bien marquée, tendance qui s'atténue avec l'augmentation de l'indice foliaire durant the cycle végétatif. Dans le cas de la variété UFV-I, de cycle moyen, cet indice foliaire culmine plus tôt que dans les deux autres, de cycle long.

Des mesures d'éclairements énergétiques solaires ont été réalisées, par intervalles de 30 minutes, durant un seul jour, pour chaque variété.

Ces mesures ont servi à l'estimation du coefficient d'absorption de rayonnement solaire global (A_c) des feuilles, du coefficient de réflexion (R), du pourcentage de rayonnement solaire global transmis (T) par les feuilles et du coefficient de rayonnement photosynthétiquement actif (α PHAR).

Les résultats obtenus permettent de conclure que:

— A_c suit une fonction croissante de la hauteur du soleil (h), aux basses hauteurs de soleil, et tend à rester constant vers 12 heures TSV, certainement, du fait des faibles incidences des rayons solaires, de la saturation en rayonnement solaire et du flétrissement temporaire de la majorité des feuilles. Ce coefficient varie dans le même sens que le pourcentage de rayonnement photosynthétiquement actif (α PHAR), conséquence de l'absorption préférentielle du PHAR par les feuilles. Considérant la période de mesures, A_c est plus élevé dans la variété UFV-I (moyenne = 73,3%) que dans la variété Santa Rosa (moyenne = 63,7%).

— Au niveau de la variété UFV-I, R se présente comme une fonction décroissante de la hauteur du soleil alors que dans les deux autres il varie indépendamment de h . Il est plus élevé dans cette variété (moyenne = 22,3%) que dans les variétés Santa Rosa (moyenne = 20,2%) et Viçoja (moyenne = 18,7%).

— Le pourcentage de rayonnement solaire global transmis (T) par les feuilles est faible (valeur maximum = 11,2%). Il se comporte comme une fonction croissante de la hauteur du soleil dans la variété UFV-I. Dans le cas de la variété Santa Rosa, il décroît entre 8 et 10 heures puis devient constant jusqu'à 13 heures et demie. Dans la bande du PHAR, la transmission de rayonnement solaire est presque inexistante.

10. LITERATURA CITADA

BLAD, B.L. e D.G.BAKER, 1972a. Orientation and distribution of leaves within soybean canopies. Agron. J. 64:26-29.

BLAD, B.L. e D.G.BAKER, 1972b. Reflected radiation from a soybean crop. Agron. J. 64:277-280.

CHARTIER, Ph., 1966. Etude du microclimat lumineux dans la végétation. Ann. Agron. 17:571-602.

CHARTIER, Ph., 1969. Assimilation nette d'une culture couvrante. I. Détermination de l'assimilation nette de la culture à partir d'une analyse théorique. Ann. Physiol. Vég. 11(2):123-159.

DE WITT, C.T., 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Agr. Res. Report Wageningen, 663, 57 p.

- DORAISWAMY, P.C. e N.J.ROSENBERG, 1974. Reflectant induced modification of soybean (Glycine max (L.) Canopy radiation balance. I. Preliminary tests with a kaolinite reflectant. Agron. J. 66:226-228.
- FRÖHLICH, C., 1973. The relation between the IPS now in use and Smithsonian Scale 1913, Angström Scale and Absolute Scale. In: Proceedings of Symposium on Solar Radiation Measurements and Instrumentation. Washington. Smithsonian Institution, Radiation Biology Laboratory. 481 p.
- HALES, St., 1727. Statical Essays, containing vegetables staticks, or, an account on some statical experiments on the sap in vegetation. W. Innys, London.
- LEMEUR, R. e N.J.ROSENBERG, 1975. Reflectant induced modification of soybean radiation balance. II. A quantitative and qualitative analysis of radiation reflected from a green soybean canopy. Agron. J. 67:301-306.
- LUXMOORE, R.J., R.J.MILLINGTON e H.MARCELLOS, 1971. Soybean canopy structure and some radiant energy relation. Agron. J. 63:111-114.
- MAXWELL, R.K., 1969. The development of a miniature solari-meter and its utility in testing light models applied to soybeans. Ph: D. Dissertation. Dept. of Soil Science, Univ. of Minnesota.
- MIRANDA, A.C.M., S.MIYASAKA, H.A.A.MASCARENHAS e D.ROSSETTO, 1977. Melhoramento da soja no Estado de São Paulo. In: Soja no Brasil Central. São Paulo. Fundação Cargill, 274 p.

- MONSI, M. e T.SAEKI, 1953. Über den lichtfactor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduction. Jap. J. Bot. 14:22-52.
- MONTEITH, J.L., 1965. Light distribution and photosynthesis in field crop. Ann. Bot. 29(113):17-37.
- NILSON, T., 1971. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. Agric. Meteorol. 8:25-38.
- PEARCE, R.B., R.H.BROWN e R.E.BLASER, 1967. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. Crop. Sci. 7:321-324.
- RANZANI, G., O.FREIRE e T.KINGO, 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP. Mimeografado. 85 p.
- SAKAMOTO, C.M. e R.H.SHAW, 1967. Light distribution in field soybean canopies. Agron. J. 59:7-9.
- SHIBLES, R.M. e C.R.WEBER, 1965. Leaf area, solar radiation and dry matter production by soybeans. Crop. Sci. 5:575-577.
- SING, R., D.B.PETERS e J.W.PENDLETON, 1968. Net and spectral radiation in soybean canopies. Agron. J. 60:542-545.