ESTUDOS DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE SOJA [Glycine max (L.) Merrill] CULTIVARES INDUSTRIAL E HARDEE

WILMAR WENDT

ENGENHEIRO AGRÔNOMO
PESQUISADOR DA EMBRAPA

Orientador: JESUS MARDEN DOS SANTOS

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo-Brasil

Abril, 1978

A minha mãe

Ao meu irmão

A minha dedicada esposa

Edith e aos meus filhos

Simone e Everson

D E D I C O

A G R A D E C I M E N T O S

Expressamos os nossos sinceros agradecimentos:

Ao Dr. Jesus Marden dos Santos, pela orientação, pelas discussões, sugestões e críticas, **durante** o desenvolvimento do **presente** trabalho;

Aos Professores do Departamento de Física e Meteorologia pelos ensinamentos recebidos;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), que possibilitaram a participação no Curso de Pós-Graduação;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelas facilidades oferecidas e doação dos equipamentos de medida;

Aos colegas Pokou Yao e José Gomes pela colaboração prestada na obtenção dos dados no campo experimental;

Aos colegas de curso pelo convívio agradável durante o período em que estivemos juntos;

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

I N D I C E

	Página
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
4. MATERIAL	16
4.1 - A Área Experimental	16
4.2 - Cultivares utilizadas	17
4.3 - Tratos culturais	17
4.4 - Equipamentos de medida	18
4.4.1 - Radiômetro Beckman & Whitley	18
4.4.2 - Piranômetro Espectral Eppley	19
4.4.3 - Piranômetro preto e branco Eppley	20
5. MÉTODOS	22
5.1 - Balanço de radiação global	23
5.2 - Balanço de radiação de onda curta	23
5.3 - Balanço de radiação de onda longa	23
5.4 - Radiação Fotossinteticamente ativa inciden- te	24
5.5 - Balanço de radiação Fotossinteticamente ativa absorvida	24
5.6 - Determinação dos coeficientes de reflexão	26
5.6.1 - Coeficiente de reflexão da radiação global de onda curta	26
5.6.2 - Coeficiente de reflexão da radiação infra-vermelho próximo	26
5.7 - Radiação transmitida pela cultura	26

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	28
6.1 - Balanços de radiação	28
6.2 - Radiação fotossinteticamente ativa	36
6.3 - Coeficientes de reflexão	40
6.4 - Radiação transmitida pela cultura.	52
7. CONCLUSOES	57
8. SUMMARY	59
9. LITERATURA CITADA	61
10. APENDICE	65

LISTA DE TABELAS

Página

1. Valores de radiação líquida global, radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa sobre a cultura de soja, cultivar Industrial, na densidade de população de 333.200 plantas/hectare. Data: 09/02/77 30
2. Valores de radiação líquida global, radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa sobre a cultura de soja, cultivar Industrial, na densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 10/02/77. 31
3. Valores de radiação líquida global, radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa sobre a cultura de soja, cultivar Hardee, na densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 12/02/77. 32
4. Valores de radiação total de onda curta, infravermelho próximo, radiação fotossinteticamente ativa incidente e radiação fotossinteticamente ativa absorvida e as relações $\frac{PHAR_{\downarrow}}{K_t}$ e $\frac{PHAR_{\downarrow}}{PHAR_{\uparrow}}$. Cultivar Industrial. Densidade de População de 333.200 pl/ha. Dia 09/02/77 38
5. Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, com uma densidade de população de 333.200 plantas/hectare. Dia: 09/02/77. 42

6. Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, com uma densidade de população de 250.000 plantas/hectare.
Dia: 10/02/77 43
7. Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Hardee, com uma densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Dia:12/02/77. 44
8. Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja, cultivar Industrial, com densidade de população de 333.200 plantas/ha.
Dia: 09/02/77 48
9. Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja, cultivar Industrial, com densidade de população de 250.000 plantas/ha.
Dia: 10/02/1977 49
10. Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja, cultivar Hardee, com densidade de população de 250.000 plantas/ha.
Dia: 12/02/77 50

11. Valores de radiação transmitida, em percentagem, para o espectro total e na região do infra-ver- melho próximo nas cultivares: Industrial com densidade de população 333.200 pl/ha. 9/02/77 Industrial com densidade de população 250.000 pl/ha - 10/02/77 Hardee com densidade de população 250.000 pl/ ha - 12/02/77	53
---	----

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Radiação líquida global, radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa, sobre a cultura de soja cultivar Industrial em uma densidade de 333.200 pl/ha.
Dia 09/02/1977 33
2. Radiação líquida global. Radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa sobre a cultura de soja, cultivar Industrial em uma densidade de 250.000 pl/ha.
Dia: 10/02/1977 34
3. Radiação líquida global, radiação líquida de onda curta e radiação líquida de onda longa sobre a cultura de soja, cultivar Hardee, em uma densidade de 250.000 pl/ha.
Dia 12/02/1977 35
4. Radiação Fotossinteticamente ativa incidente e absorvida pela cultura de soja, cultivar Industrial. Dia 09/02/1977 39
5. Radiação solar global de onda curta, radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, numa densidade de população de 333.200 pl/ha.
Dia 09/02/1977 45

6. Radiação solar global de onda curta, radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, numa densidade de população de 250.00 pl/ha.
Dia 10/02/1977 46
7. Radiação solar global de onda curta, radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Hardee, numa densidade de população de 333.200 pl/ha.
Dia 12/02/1977 47
8. Coeficientes de reflexão na região do espectro da radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja nas cultivares Hardee Industrial, com 250.000 pl/ha e Industrial com 333.200 pl/ha. 51
9. Radiação transmitida para o espectro total e na região do infra-vermelho na cultivar Industrial com densidade de população de 250.000 pl/ha. Dia 10/02/1977 54
10. Radiação transmitida para o espectro total e na região do infra-vermelho na cultivar Hardee com densidade de população de 250.000 pl/ha.
Dia 12/02/1977 55

11. Radiação transmitida para o espectro total e na região do infra-vermelho na cultivar Industrial com densidade de população de 333.200 pl/ha. Dia 09/02/1977	56
--	----

1. RESUMO

Os estudos foram realizados visando conhecer o balanço de radiação em campos cultivados com soja (Glycine max (L.) Merrill, considerando-se dois cultivares, a Industrial e a Hardee.

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP, no município de Piracicaba (SP), latitude 22°42'30,9" Sul e longitude 47°38'00,0" Oeste, em uma altitude de 576 metros, sobre solo do tipo Terra Roxa Estruturada, série Luiz de Queiroz (Alfisol) segundo a sétima aproximação (RANZANI et alii, 1966).

Os balanços de radiação foram realizados quando a cultura atingiu seu estágio máximo de desenvolvimento. Considerou-se, nas medidas, duas faixas de comprimento de onda, uma de 0,3 a 3,0 μ e a outra de 0,7 a 3,0 μ , utilizando-se de piranômetros espectrais Eppley com filtros WG-7 e RG-8.

Como principais conclusões, pode-se citar:

1) Os coeficientes de reflexão da cultivar Industrial não apresentaram diferenças quando se considerou a densidade de população. O coeficiente de reflexão médio determinado foi de 0,22;

2) A cultivar Hardee apresentou um valor de coeficiente de reflexão inferior ao da cultivar Industrial. O coeficiente de reflexão médio determinado foi de 0,20, com uma amplitude de variação entre 0,17 e 0,24;

3) Os valores de coeficiente de reflexão, quando considerados os comprimentos de onda superiores a $0,7\mu$, mostraram-se ser diferentes nas duas densidades de plantio e também entre cultivares;

4) A radiação PHAR absorvida pelo dossel vegetativo foi 84% da radiação fotossinteticamente ativa incidente, e esta corresponde a apenas 45,6% da radiação solar global de onda curta;

5) Os valores médios da radiação global transmitida, T_G , no dossel vegetativo da cultivar Industrial, variaram de 7,4% a 6,1%;

6) Os valores médios da radiação infra vermelho próximo transmitida (T_{IP}), na cultivar Industrial, apresentaram uma variação entre 14,7% e 12,5%;

7) A cultivar Hardee apresentou valores maiores tanto para T_G como para T_{IP} .

2. INTRODUÇÃO

Em anos recentes, a estimativa da produção máxima das culturas tem sido valiosa para servir como um padrão que seja comparado aos modelos teóricos de exploração vegetal e às produções obtidas através de práticas agrícolas tradicionais. Existem evidências de plantas que se desenvolvem nos ambientes mais díspares e proporcionam uma produção máxima desde que a conversão de energia radiante seja de 2 a 3%, apesar de que a eficiência potencial de conversão de energia é bem maior, como tem sido demonstrado pela pesquisa especializada.

O potencial agrônômico de uma planta é a sua capacidade de produção em um ambiente determinado pela energia radiante disponível pela variação em absorção do dióxido de carbono e pela temperatura do ar, desde que todos os outros fatores que afetam o crescimento tenham sido otimizados.

As pesquisas no âmbito da agrometeorologia e da agroclimatologia devem procurar as respostas aos inúmeros problemas que envolvem as relações das plantas com o ar e o solo, na procura do uso mais eficiente das condições do

meio ambiente, visando o aumento da produção agrícola e a melhoria da qualidade no produto vegetal.

O homem, através dos tempos, tem desenvolvido uma estratégia, apesar de empírica, para modificar ou aproveitar as condições do meio ambiente procurando tirar vantagens que beneficiem a produção vegetal. As práticas como fertilização do solo, irrigação, controle de pragas, cruzamento e seleção de plantas são bastante comuns. Entretanto, esforços coordenados para compreensão dos mecanismos que controlam todo o "continuum" solo-planta-atmosfera são bastante recentes.

Numerosos estudos indicam que a fotossíntese e a produção das plantas em condições de campo são limitadas pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PHAR) interceptada pela vegetação. Desta maneira, a interceptação da radiação solar e a sua distribuição através do perfil da comunidade vegetal, contribui de maneira dominante na produção vegetal.

Apesar dos modelos disponíveis e que descrevem detalhadamente o regime de radiação em um sistema de plantas, pouca atenção tem sido dada às relações de troca de CO_2 e dissipação da radiação em folhas individuais.

Existem dois tipos de estudos de campo que são essenciais ao desenvolvimento completo do modelo no sistema planta-meio ambiente, o primeiro tem por base o uso de câmaras especiais onde se estuda a assimilação de CO_2 pelas folhas e o segundo é o estudo da comunidade vegetal nas condições de campo pela medida dos perfis de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, concentrações de CO_2 e ba-

lanços de radiação medidos acima e no interior da comunidade vegetal.

O estudo do balanço da radiação solar num campo cultivado com uma cultura de interesse econômico, é um parâmetro importante no estabelecimento de novos modelos agrônômicos, por estar diretamente relacionados à capacidade metabólica da cultura e às modificações nos elementos do microclima no seu interior. O conhecimento da distribuição da radiação líquida no interior do dossel vegetativo, caracteriza a quantidade da energia disponível para ser utilizado nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na planta, permitindo também avaliar em que processos são mais ativos.

Do fluxo da radiação solar que incide sobre uma cultura, apenas uma pequena parte é absorvida pelos fitocromos e utilizado no processo fotossintético. Torna-se então, importante o conhecimento da quantidade e distribuição desse fluxo no interior da cultura, pois ele está diretamente relacionado à produção de matéria seca e consequentemente à capacidade produtiva da cultura.

Assim, a manifestação do potencial de produção de uma planta é limitado pelas disponibilidades do meio físico. Entretanto, estudos envolvendo leguminosas são raros o que vem evidenciar a importância de estudos nessa área. A soja é uma cultura que assume grande importância econômica por colocar o Brasil em um lugar de destaque entre os maiores produtores do mundo, apesar da produtividade ser baixa quando comparada com a de outros países.

O presente trabalho tem por objetivos estu-

dar, em dois cultivares de soja, as modificações quantitativas, em valores instantâneos, do balanço de radiação solar global, de onda curta e de onda longa; determinar os valores dos coeficientes de reflexão e a radiação transmitida no interior da cultura para o espectro da radiação global de onda curta e na faixa do infra-vermelho próximo, procurando determinar a radiação fotossinteticamente ativa (PHAR) incidente e absorvida pela cultura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Grande número de investigações científicas tem sido realizado no que se refere a balanço de energia em culturas de interesse econômico. Algumas tem envolvido medidas sobre várias condições de densidade de população e orientação das linhas, AUBERTIN e PETERS (1961), YAO e SHAW (1964) e LINVILL e DALE (1975).

A distribuição de radiação líquida em uma cultura de plantas representa a energia necessária para os processos de evapotranspiração, fotossíntese e o aquecimento das plantas e do ar no seu interior, YAO e SHAW (1964).

AUBERTIN e PETERS, determinaram a radiação global em uma cultura de milho em duas populações diferentes. Cada população tinha dois espaçamentos, sendo de 50 e 102 cm entre fileiras. Os resultados mostraram que a radiação líquida é inferior na menor densidade de população, atribuídos essas diferenças à distribuição espacial de plantas e seus hábitos de crescimento. Entretanto, o sombreamento mútuo da própria cobertura vegetal, a aplicação de produtos com propriedades reflectivas, originando um aumento no coe-

ficiente de reflexão e pelo acréscimo da radiação solar refletida, a radiação líquida pode também ser reduzida, DORAIS WAMY e ROSENBERG (1974).

MONTEITH e SZEICZ (1961), afirmam que a radiação líquida global é mais alta pela manhã do que a tarde, para o mesmo ângulo de elevação solar. Esta afirmação é baseada em que a temperatura da superfície é mais elevada no período da tarde, consequentemente maior emissão térmica de onda longa do solo. Neste mesmo estudo, eles mostraram que: (a) a perda máxima de radiação de onda longa verificou-se às 14:00 horas evidenciando maior emissão de onda longa em função da temperatura ser mais elevada; (b) o fluxo de radiação de onda longa, $L \uparrow$, da superfície do solo e vegetação, ao meio dia, foi três vezes superior ao seu valor noturno e (c) ao meio dia, o fluxo de onda longa, $L \uparrow$, foi de $-0,35 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, correspondendo a um fluxo de radiação solar de onda curta medido de $1,2 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

DENMEAD et alii (1962) baseados em que a radiação líquida é um parâmetro indicador da descrição do meio físico e, portanto, representando os elementos necessários ao desenvolvimento da comunidade vegetal, determinaram valores de radiação líquida de onda curta, em uma cultura de milho, à 15 cm da superfície do solo e a 100 cm acima da cultura. Os valores, em porcentagem, a 15 cm do solo, foram de 25% quando comparado aos 100% medidos sobre a cultura, mostrando desta forma que 75% da radiação líquida incidente foi absorvida pelas plantas.

O perfil da radiação líquida no interior de uma cultura obedece a uma função exponencial com a altura

da cultura, ALLEN et alii (1964). Eles concluem também que a radiação de onda curta transmitida, no interior da cultura, pode ser expressa como uma função exponencial da altura bem como do índice de área foliar da mesma. Resultados e sugestões como estas alertam a importância do IAF na distribuição porcentual do total de luz que incide sobre uma comunidade de plantas.

SAKAMOTO e SHAW (1967) em trabalhos com soja refere-se a deficiência de iluminação nas folhas inferiores e que um acréscimo possivelmente poderá levar a um aumento na produção de grãos. Citando dados de que 90% da luz é interceptada na periferia, junto ao topo da planta, sugere uma contribuição para o aumento da área foliar efetiva pela orientação de linha e arquitetura de planta, concluindo que a seleção de cultivares que facilite a penetração de energia para um grande número de folhas pode ser uma tecnologia para o aumento da produção.

Um número grande de informações acerca desses efeitos da intensidade luminosa na produção biológica da soja é conhecida pela sua alta sensibilidade, DORAISWAMY e ROSENBERG (1974) e que sugere incrementar uma tecnologia para alterar o albedo com a mudança de arquitetura, propriedades óticas ou aplicação de produtos refletores como kaolinite ou celite. As propriedades óticas sugere GUPTA e JOSEPH (1971) que está relacionado com a idade das folhas sendo que os novos apresentam menor coeficientes de reflexão, para a faixa do visível, estando este coeficiente relacionado com a quantidade de clorofila.

GAY (1971) considera um balanço de radiação

sobre as culturas como a variação dos diferentes fluxos de energia radiante e que pode ser considerado como sendo:

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \quad \text{ou}$$

$$Q^* = (1 - a) K\downarrow + L^* = K^* + L^*$$

onde:

$K\uparrow$ é o fluxo de radiação refletida, a é o coeficiente de reflexão da superfície em estudo, $L\downarrow$ representa o fluxo de radiação de onda longa emitida pela atmosfera e que atinge a superfície, $L\uparrow$ é o fluxo de radiação de onda longa emitida pelo solo e $K\downarrow$ é o fluxo de radiação global que atinge a superfície em estudo.

LINVILL e DALE (1975) estudando os efeitos da radiação líquida de onda curta e condições de umidade do solo, concorrentes para o crescimento e desenvolvimento do milho, em duas épocas de plantio e duas populações, uma de 42.000 pl/ha e a outra de 62.000 pl/ha, concluíram que não houve uma diferença significativa na radiação líquida, na produção de grãos e na umidade do solo, entre as duas populações. No entanto, os autores alertam a possibilidade de terem cometido erros em relação ao experimento realizado, tais como: heterogeneidade da população, calibração instrumental não precisa, poucas repetições das populações e falta de dados com relação à exigência de água para a cultura.

Um índice utilizado no estudo de balanço de radiação em vegetais é o coeficiente de reflexão. O coeficiente de reflexão ou o albedo de uma superfície, denominado por alguns pesquisadores, é definido por SANTOS (1957) como sendo a relação existente entre a radiação refletida por

aquela superfície e o total de radiação incidente sobre a mesma. Em seu estudo foi utilizado um pireliômetro Eppley e Baterias Solares S-1A que deram valores de albedo para uma superfície vegetada com Paspalum notatum Flugge, terra roxa misturada e superfícies artificiais branca e preta. Os resultados obtidos para a superfície verde natural de Paspalum notatum não diferiram grandemente dos valores conseguidos para as superfícies verdes naturais. Com o uso de pireliometro foi obtido um valor médio ao redor de 0,17 e com o emprego da bateria solar S-1A os resultados variaram em torno de 0,12 a 0,13.

Grande parte dos trabalhos realizados com a finalidade de se determinar coeficientes de reflexão para as diversas culturas, verificou-se que ocorre uma variação desse coeficiente ao longo do dia. Na literatura, os primeiros trabalhos realizados são citados por MONTEITH (1959) reportando valores de coeficientes determinados por ANGSTROM (1925), KALITIN (1930) e ROACH (1955).

GRAHAM e KING (1961) determinaram o valor do albedo em uma cultura de milho, observando que o mesmo varia com a hora do dia, com a idade da planta, com a época do ano e com umidade do solo. Os coeficientes mais altos são conseguidos nas primeiras horas da manhã e nas últimas à tarde, sendo, portanto, menores ao meio dia. Estudos mostram que ocorre um decréscimo no valor do albedo com o acréscimo do ângulo zenital, cerca de 30%, ISOBE (1961), MONTEITH e SZEIC (1961) e MONTEITH (1965).

Entretanto, LIN-SIEN-CHIA (1967) afirma que por um lado quando existe uma reflexão especular da radiação

direta, pelas folhas, ocorre um acréscimo nos valores de albedo com o aumento do ângulo zenital, mas mostrou que em um solo escuro seco, sem reflexão especular a variação do albedo ao longo do dia foi insignificante, e que sob condições de nebulosidade (céu encoberto por nuvens) os valores de albedo de superfícies vegetais, também são praticamente constantes.

Da mesma forma KALMA e BADHAM (1971), trabalhando em uma pastagem tropical e solo desnudo observaram que no segundo caso uma quase constante nos valores de albedo, entretanto na pastagem ocorreu uma variação maior que foram atribuídos as mudanças das características da superfície vegetal, porcentagem de cobertura do solo, acréscimo do índice de área foliar e finalmente das propriedades espectrais das folhas. A variação diurna no valor do albedo pode ser atribuído ao tipo do piranometro usado, mas parte desse acréscimo, com o aumento do ângulo zenital, teria um efeito real da própria superfície vegetal. Neste mesmo trabalho, os autores citam KUHN e SUOMI (1958) usando refletor parabólicos e HART e ROSENBERG (1968) usando piranômetros invertidos com uma proteção cilíndrica, que eles não observaram uma variação diurna nos valores de albedo em superfícies de coberturas vegetais atribuídos a inexistência, nestas condições, de uma reflexão interna nos equipamentos.

Sob condições de dias completamente límpido e inteiramente nublado, BLAD e BAKER (1972) estabeleceram para uma cultura de soja, valores médios de albedo entre 24 e 27%, dependendo do estágio de desenvolvimento, sendo máximo quando a cultura cobria totalmente o solo. Neste trabalho, o albedo é ainda estudado em condições de baixa umidade no solo,

sendo que nessas condições houve um decréscimo no valor do albedo, atribuído a uma maior penetração de radiação entre a cultura facilitada pelas folhas murchas que assumem posição perpendicular ao solo. Analizando os dados de albedo, para os dias nublados, verificou-se que houve um valor médio diário menor e uma maior amplitude de variação nos valores de albedo em consequência da radiação ser menos intensa, naquelas condições, dificultando o registro desses dados de radiação.

Em trabalhos mais recentes verifica-se que o índice de área foliar (IAF) tem sido um dos fatores mais importantes para se estimar a parcela da radiação incidente que é refletida. BLAD e BAKER (1972) determinaram estatisticamente uma equação do tipo: $Y = 12,63 + 0,1279 X$ para obter valores de albedo (Y) em função do acréscimo do IAF (X). Semelhantemente, LEMEURE e ROSENBERG (1975), estudando em uma cultura de soja as relações entre α (PHAR) e α (NIR) que são os coeficientes de reflexão para os dois comprimentos de onda, citam uma correlação entre os valores desses coeficientes e o índice de área foliar (IAF), em que o α (PHAR) decresce como o aumento do IAF enquanto α (NIR) aumenta.

A radiação solar altera o seu espectro ao penetrar no interior da cultura, segundo YOCUM et alii (1964) e mostraram que em uma cultura de milho a radiação transmitida, ao nível do solo, foi da ordem de 5 a 10%, no espectro visível, e de 30 a 40% na região do infra-vermelho próximo. Eles consideram que a energia solar que atinge a superfície da cultura, 47% corresponde ao espectro visível (400 - 700nm). Neste mesmo estudo eles mostram a possibilidade de se estimar a radiação solar absorvida pela cultura. Desde que se

faça medidas de radiação incidente, radiação transmitida e a radiação refletida.

ALLEN e BROWN (1965) determinaram o perfil da radiação transmitida no interior de uma cultura de milho. Concluíram que a radiação transmitida varia ao longo do dia e existe um decréscimo, da parcela da radiação transmitida, até atingir um valor mínimo, próximo à superfície do solo. Os resultados mostraram maior porcentagem de transmissão na região do infra-vermelho próximo, a seguir na radiação total de onda curta e finalmente com uma menor porcentagem de transmissão na região do visível.

MONTEITH (1972) atribui para efeito de aplicações práticas, a parcela da radiação fotossinteticamente ativa (PHAR), como sendo de 50% da radiação total de onda curta. Entretanto, ele cita o trabalho de MOON (1940) atribuindo como a quantidade de energia recebida, correspondente ao (PHAR) ser de 45% quando o ângulo de elevação solar é maior do que 30°. Os valores de MOON referem-se apenas a radiação direta que se encontra predominantemente na região do espectro visível. Desta forma, o total do espectro visível contido na radiação global (direta mais difusa) deve exceder 45%.

O espectro da radiação solar é modificado a medida que penetra no interior de uma cultura de milho devido a uma diferenciação de absorção pelas folhas. Na região do espectro correspondente à radiação fotossinteticamente ativa (PHAR), 85% do fluxo desta radiação é absorvida pelas folhas com um decréscimo ao redor de 550 nanômetros. No intervalo de 660 a 730 nanômetros, verifica-se uma maior absorção, segundo SINCLAIR e LEMON (1973).

BRITTON e DODD (1976) determinaram equações bimensais para estações de dias longos e curtos, com objetivo de estimar a radiação fotossinteticamente ativa (PHAR) em função do fluxo de radiação de onda curta. Sob condições de dias completamente límpidos, encontraram valores de 46% e 44% para dias de fotoperíodo longo e curto, respectivamente. Concluem que 97% da radiação fotossinteticamente ativa (PHAR) pode ser atribuída a radiação incidente de onda curta. Destacam a importância da medida do PHAR para a análise de crescimento de plantas e também para a avaliação da eficiência de conversão da energia solar em energia química. Os autores citam trabalhos de Mc CREE (1966) que determinou a parcela do PHAR, como sendo de 48% da radiação global de onda curta. Outro trabalho é o de SZEICZ (1974) que para as condições de céu claro, na estação de inverno e verão, a parcela do PHAR correspondeu 46% e 50% respectivamente.

4. MATERIAL

4.1 - A Área Experimental

A presente pesquisa foi conduzida na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba, SP, que tem por coordenadas geográficas os seguintes valores:

latitude - 22°42'30,9"Sul

longitude - 47°38'00,0"Oeste

A altitude do Observatório Meteorológico, localizado ao lado da área experimental, é de 576 metros, acima do nível do mar.

O solo do campo experimental é do tipo Terra Roxa Estruturada, série Luiz de Queiroz (Alfisol) segundo a sétima aproximação (RANZANI et alii, 1966).

4.2 - Cultivares Utilizadas

As pesquisas foram realizadas com culturas de soja que é uma leguminosa da sub-família Papilionideae e gênero *Glycine*, classificadas como *Glycine max* (L.) Merrill.

Elegeram-se duas cultivares, a Hardee que é planta de crescimento determinado, com folhas de coloração verde escuro e que pode atingir uma altura de 115 centímetros após pleno desenvolvimento. Suas flores são brancas e a pubescência é cinza. O ciclo vegetativo é de aproximadamente 150 dias. A outra cultivar, denominada Industrial, é planta que também apresenta crescimento determinado porém suas folhas são verde claro e seu porte menor que a Hardee pois atinge uma altura máxima de 110 centímetros ao atingir seu desenvolvimento máximo. Suas flores são brancas, a pubescência marrom e o hilo marrom claro. As duas cultivares são consideradas de ciclo tardio.

4.3 - Tratos Culturais

O solo foi arado, gradeado e, após as primeiras chuvas de novembro, procedeu-se ao preparo final da área do experimento pela passagem de enxada rotativa em dois sentidos, perpendiculares um ao outro.

A semeadura foi feita em sulcos, tendo sido aplicada uma adubação NPK (250-50-75) sob a forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e clóreto de potássio, manualmente nos próprios sulcos.

Para o tratamento das sementes utilizou-se o inoculante Brasan e o plantio foi realizado no dia 10 de novembro de 1976, adotando-se os espaçamentos de 60 x 5 centímetros e 40 x 10 centímetros. Estes espaçamentos correspondem a uma população de 333.200 plantas por hectare e 250.000 plantas por hectare. Foram plantadas três parcelas de cada tratamento com as dimensões de 16 x 10 metros.

No 15º dia, após a semeadura, realizou-se um desbaste para que os espaçamentos de 5 e 10 centímetros entre plantas fossem rigorosamente obedecidos.

O estágio de floração plena, para as duas cultivares, observou-se no período de 3 a 10 de janeiro de 1977.

4.4 - Equipamentos de Medida

4.4.1 - Radiômetro Beckman & Whitley

Estes radiômetros são utilizados para a medida da radiação líquida global. São aparelhos idealizados por Gier-Dunkle e construídos comercialmente pela firma Beckman & Whitley, que apresentam como elemento sensível uma termopilha formada por várias junções de prata-constantan na parte superfície receptora de radiação. A placa receptora tem as suas duas faces enegrecidas e a equação que representa o sistema é a seguinte:

$$G_1 - G_2 = K_v$$

onde,

G_1 = incidência da superfície superior do transistor.

G_2 = irradiância da superfície inferior do transistor.

K = constante de calibração do radiômetro.

v = resposta em mV do elemento sensível.

No aparelho utilizado a constante K apresentou um valor de $8,382 \text{ mV} \cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

4.4.2 - Piranômetro Espectral Eppley

Este equipamento é um dos mais precisos piranômetros utilizados para medir a radiação solar global de onda curta. O piranômetro usado é um modelo aperfeiçoado. O elemento sensível é composto por uma termopilha circular tendo multijuntas com fios de cobre-constantan. A termopilha possui a vantagem de resistir a severa vibração mecânica e mesmo a choques. O elemento sensível é montado em um estojo de metal cromado, protegido por um par de hemisférios concêntricos removíveis, polidas, de vidro ótico Schott, sendo que o interno é de vidro transparente WG7 e o externo de WG7 ou outros vidros que funcionam como filtros hemisféricos. O vidro WG7 é transparente a partir de um comprimento de onda de $0,285$ até $2,8 \mu$. Os filtros mais comuns que podem ser adaptados ao piranômetro espectral e seus respectivos cortes dos comprimentos de onda são: GG14 aproximadamente $0,500 \mu$, OG1 - $0,530 \mu$, RG2 - $0,630 \mu$ e RG8 aproxima-

damente $0,700 \mu$. Para medida da radiação ultravioleta existem cúpulas de quartzo. Algumas características deste instrumento se referem a sua sensibilidade que corresponde a $6,42 \text{ mV} \cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ e com uma impedância de 300 ohms. Apresenta um receptor circular com área de 1 cm^{-2} , revestido com verniz ótico preto. Com relação a temperatura, possui uma sensibilidade constante até mais ou menos 1% da temperatura ambiente. O tempo de resposta deste piranômetro é de 1 segundo. As leituras podem ser feitas através de dispositivos potenciométricos, de preferência. Este equipamento tem um suporte de bronze fundido, com um disco protetor esmaltado pintado de branco. É constituído também por um dissecador que pode ser periodicamente manuseado.

Para as medidas de radiação solar na região do infra-vermelho próximo (NIR), utilizou-se um filtro RG8, acoplado em um piranômetro espectral, com as mesmas características do anterior, apresentando uma constante de calibração de $6,89 \text{ mV} \cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.

4.4.3 - Piranômetro Preto e Branco Eppley

Este equipamento é também utilizado para medir a radiação global de onda curta. O modelo utilizado é uma versão do pireliômetro Eppley de 10-50 junções, 180°, originalmente introduzido por Kimball e Hobbs em 1923. O elemento sensível é uma termopilha diferencial, formando pares com cobre-constantan em que as junções se encontram acopladas à superfícies receptoras preta e branca. Os piranômetros utilizados tem constante de calibração igual a $2,48 \text{ mV}$.

$\cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ e $2,71 \text{ mV} \cdot \text{cal}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ e
apresentam uma impedância de 300 ohms. Possuem um tempo de
resposta de 3 a 4 segundos.

5. MÉTODOS

Nos estudos em que se procura determinar os fluxos de radiação solar que interagem com as superfícies vegetadas, pode-se tomar por base a expressão geral do balanço de radiação na seguinte forma:

$$Q^* = K^* + L^* \quad (1)$$

$$K^* = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} \quad (2)$$

$$L^* = L_{\downarrow} - L_{\uparrow} \quad (3)$$

onde,

Q^* = balanço de radiação global

K^* = balanço de radiação de onda curta

L^* = balanço de radiação de onda longa

$K_{\downarrow}$ = fluxo de radiação global de onda curta incidente sobre a superfície estudada

$K_{\uparrow}$ = fluxo de radiação global de onda curta refletida pela superfície estudada

$L_{\downarrow}$ = fluxo de radiação de onda longa emitido pela at-

mosfera na direção da superfície

$L^{\uparrow}$ = fluxo de radiação de onda longa emitido pela superfície estudada.

5.1 - Balanco de Radiação Global (Q^*)

O balanço de radiação global (Q^*) foi obtido por medida direta com o radiômetro Backman & Whitley, instalado a 50 centímetros acima do dossel vegetal, estando a sua placa receptora de radiação em nível.

5.2 - Balanco de Radiação de Onda Curta (K^*)

O balanço de radiação de onda curta foi estimado a partir da expressão (2) e para tanto necessitou-se de determinar $K_{\downarrow}$ e $K^{\uparrow}$. Para estas medidas foram instalados, a 50 centímetros acima da cultura, dois piranômetros Eppley modelo 8-48A, um em posição normal e o outro com a sua superfície receptora de radiação voltada para baixo.

5.3 - Balanco de Radiação de Onda Longa (L^*)

O balanço de radiação de onda longa foi estimado pela diferença entre os valores medidos de Q^* e estimados de K^* , assim:

$$L^* = Q^* - K^*$$

5.4 - Radiação Fotossinteticamente Ativa (PHAR ↓) Inci- dente

A quantidade de radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre a cultura de soja foi obtida pela seguinte expressão:

$$\text{PHAR} \downarrow = K \downarrow - K \downarrow_{\text{RG8}}$$

Os valores instantâneos de radiação solar global de onda curta ($K \downarrow$) e da radiação infra-vermelho próximo (NIR), foram medidos por piranômetros espectrais Eppley, sendo um deles sem filtro e o outro com filtro RG8. Os instrumentos foram fixados sobre um carrinho com rodas, o qual foi colocado sobre uma mesa, perfeitamente nivelada, à mesma altura da superfície da cultura.

5.5 - Balanco de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PHAR_A) Absorvida

Para estimar o balanço de radiação fotossinteticamente ativa (PHAR*) considerou-se que a radiação refletida, correspondente ao espectro visível, é 10% da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PHAR ↓), segundo MONTEITH (1959):

$$\text{PHAR} \uparrow = 10\% \text{ do PHAR}$$

Como o termo PHAR ↑ é o resultado da diferença entre o fluxo de radiação global de onda curta refletido

($K_{\uparrow}$) e o fluxo de radiação refletido na região do infra-vermelho próximo ($K_{RG8}^{\uparrow}$), foi possível quantificar os valores de $K_{RG8}^{\uparrow}$ pela equação:

$$K_{RG8}^{\uparrow} = K_{\uparrow} - PHAR_{\uparrow}$$

Para estimar a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura de soja, determinou-se a radiação global de onda curta absorvida pela cultura pela seguinte expressão:

$$A_G = K^* - K_O^{\downarrow}$$

A parcela de radiação absorvida na região do infra-vermelho próximo (NIR) foi estimada pela expressão abaixo:

$$A_{G_RG8} = K^*_{RG8} - K_{O_RG8}^{\downarrow}$$

Os valores de $K_O^{\downarrow}$ e $K_{O_RG8}^{\downarrow}$ foram medidos no interior da cultura, ao nível do solo, com piranômetros sem filtro e outro com filtro RG8, respectivamente. Os aparelhos foram dispostos em pontos fixos entre as linhas dos dois cultivos em estudo.

Com a disponibilidade dos dados de A_G e A_{G_RG8} , os valores da radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR_A$) absorvida pela cultura de soja foram determinados pela seguinte expressão:

$$PHAR_A = A_G - A_{G_RG8}$$

5.6 - Determinação dos Coeficientes de Reflexão

5.6.1 - Coeficiente de Reflexão da Radiação Global de Onda Curta (0,3 - 3,0 μ)

Os valores dos coeficientes de reflexão, para esta faixa do espectro solar, foram obtidos pela seguinte expressão:

$$a = K^{\uparrow} \cdot K^{\downarrow}^{-1}$$

Os valores de $K^{\uparrow}$ e $K^{\downarrow}$ foram medidos com os piranômetros preto e branco Eppley, modelo 8-48A, usados também para determinar a radiação líquida de onda curta.

5.6.2 - Coeficiente de Reflexão da Radiação Infra-vermelho Próximo (0,7 - 3,0 μ)

Para a determinação do coeficiente de reflexão na região do espectro da radiação infra-vermelho próximo, utilizou-se a expressão:

$$a = K_{RG8}^{\uparrow} \cdot K_{RG8}^{\downarrow}^{-1}$$

5.7 - Radiação Transmitida pela Cultura

Com os valores da radiação global medidos acima da cultura e os de radiação global no interior da cultura, ao nível do solo, determinou-se a radiação transmitida pela

cultura em dois níveis de competição. A radiação transmitida, em porcentagem, para a radiação global de onda curta e para a radiação infra-vermelho próximo (NIR) foi calculado com base nas equações:

$$a) T_G = (K_O^{\downarrow} \cdot K^{\downarrow -1}) \times 100$$

$$b) T_{IP} = (K_{O_RG8}^{\downarrow} \cdot K_{RG8}^{\downarrow -1}) \times 100$$

onde,

T_G é a parcela de transmissão da radiação global de onda curta e T_{IP} compreende a transmissão da radiação infra-vermelho próximo (NIR).

Os valores de $K_O^{\downarrow}$ foram obtidos medindo-se a radiação global de onda curta para baixo, ao nível do solo, com piranômetro sem filtro e os valores de $K_{O_RG8}^{\downarrow}$ quando naquelas mesmas condições foi utilizado o filtro RG8.

Para que as medidas fossem melhor realizadas utilizou-se um carrinho com rodas sobre o qual os instrumentos foram fixos e nivelados. No interior da cultura, próximo à superfície do solo, instalou-se um trilho permitindo que o carrinho, com os aparelhos, fosse movimentado para o interior da cultura, até o ponto de leitura desejado.

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Como ficou demonstrado pela descrição dos métodos, foram realizadas determinações dos fluxos de radiação de onda curta $K\downarrow$ e $K\uparrow$, considerando-se todo o espectro de emissão da radiação solar ao nível do solo e também todos os comprimentos de onda acima de $0,70\mu$, pela utilização de um filtro RG8. Além das medidas de $K\downarrow$ e $K\uparrow$ pouco acima do dossel vegetativo foram observados os valores de $K\downarrow$, sob a cobertura vegetal (no seu interior), nas mesmas condições adotadas para as determinações anteriores no que se refere à utilização de filtros.

Sendo assim, a partir das medidas diretas dos vários fluxos de radiação e faixas de comprimento de onda, foram calculados os valores dos coeficientes de reflexão do balanço de radiação de onda curta e global, da radiação transmitida através do dossel vegetativo e dos fluxos de radiação fotossinteticamente ativa.

6.1 - Balanços de radiação

Os resultados do balanço de radiação global, de onda curta e de onda longa, encontram-se na tabela 1 e figura 1, para a cultivar Industrial, espaçamento 60 x 5 cm, na tabela 2 e figura 2 para a cultivar Industrial, espaçamento 40 x 10 cm e na tabela 3 e figura 3, para a cultivar Hardee, espaçamento 40 x 10 cm.

Nota-se que para os 3 dias de observação os resultados não diferiram, sendo possível comparar as estimativas de todos os fluxos de radiação que interessavam para as condições da pesquisa.

Tabela 1. Valores de radiação líquida global (Q^*), radiação líquida de onda curta (K^*) e radiação líquida de onda longa (L^*) sobre a cultura de soja, cultivar Industrial, na densidade de população de 333.200 plantas/hectare. Data: 09/02/77.

Horas	Radiação Líquida Global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)	Radiação Líquida de onda curta ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)	Radiação Líquida de onda longa ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)
8:00	0,20	0,30	-0,10
8:15	0,31	0,45	-0,14
8:30	0,29	0,43	-0,14
8:45	0,45	0,58	-0,13
9:00	0,49	0,62	-0,13
9:15	0,66	0,84	-0,18
9:30	0,68	0,91	-0,23
9:45	0,62	0,75	-0,13
10:00	0,62	0,78	-0,16
10:15	0,60	0,82	-0,22
10:30	0,94	1,14	-0,20
10:45	0,50	0,68	-0,18
11:00	0,84	1,07	-0,23
11:15	0,96	1,18	-0,22
11:30	0,99	1,22	-0,23
11:45	0,98	1,18	-0,20
12:00	0,96	1,18	-0,22
12:15	0,99	1,22	-0,23
12:30	1,01	1,22	-0,21
12:45	1,07	1,22	-0,15
13:00	1,09	1,22	-0,13
13:15	1,01	1,22	-0,21
13:30	1,02	1,22	-0,20
13:45	0,99	1,14	-0,16
14:00	0,93	1,11	-0,18
14:15	0,75	0,90	-0,25
14:30	0,80	1,01	-0,21
14:45	0,78	1,01	-0,23
15:00	0,74	0,93	-0,19
15:15	0,70	0,83	-0,23
15:30	0,64	0,79	-0,15
15:45	0,58	0,71	-0,13
16:00	0,58	0,71	-0,13
16:15	0,49	0,68	-0,19
16:30	0,42	0,57	-0,15
16:45	0,34	0,50	-0,16
17:00	0,25	0,37	-0,12
17:15	0,18	0,28	-0,10
17:30	0,15	0,25	-0,10

Tabela 2. Valores de radiação líquida global (Q^*), radiação líquida de onda curta (K^*) e radiação líquida de onda longa (L^*) sobre a cultura de soja, cultivar Industrial, na densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 10/02/77.

Horas	Radiação Líquida global (cal. cm ⁻² .min ⁻¹)	Radiação Líquida de onda curta (cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	Radiação Líquida de onda longa (cal.cm ⁻² .min ⁻¹)
8:00	0,29	0,45	-0,16
8:15	0,34	0,48	-0,14
8:30	0,42	0,57	-0,15
8:45	0,45	0,60	-0,15
9:00	0,52	0,69	-0,17
9:15	0,52	0,69	-0,17
9:30	0,52	0,69	-0,17
9:45	0,54	0,73	-0,19
10:00	0,62	0,78	-0,16
10:15	0,74	0,92	-0,18
10:30	0,75	0,91	-0,16
10:45	0,80	1,00	-0,20
11:00	0,77	0,93	-0,16
11:15	0,82	1,01	-0,19
11:30	0,91	1,11	-0,20
11:45	0,74	0,90	-0,16
12:00	0,91	1,08	-0,17
12:15	0,80	0,90	-0,10
12:30	0,69	0,82	-0,13
12:45	0,88	1,08	-0,20
13:00	0,83	1,01	-0,18
13:15	0,72	0,83	-0,14
13:30	0,70	0,82	-0,12
13:45	0,74	0,86	-0,12
14:00	0,62	0,84	-0,22
14:15	0,68	0,84	-0,16
14:30	0,64	0,80	-0,16
14:45	0,55	0,68	-0,13
15:00	0,59	0,56	-0,03
15:15	0,46	0,47	-0,01
15:30	0,37	0,45	-0,08

Tabela 3. Valores de radiação líquida global (Q^*), radiação líquida de onda curta (K^*) e radiação líquida de onda longa (L^*) sobre a cultura de soja, cultivar Hardee, na densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 12/02/77.

Horas	Radiação Líquida Global ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	Radiação Líquida de onda curta ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	Radiação Líquida de onda longa ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)
8:00	0,33	0,55	-0,22
8:30	0,43	0,64	-0,21
8:45	0,48	0,70	-0,22
9:00	0,53	0,76	-0,23
9:15	0,58	0,80	-0,22
10:00	0,70	0,93	-0,23
10:30	0,78	1,00	-0,22
10:45	0,88	1,12	-0,24
11:00	0,91	1,19	-0,28
11:30	0,95	1,19	-0,24
11:45	0,97	1,19	-0,22
12:00	0,99	1,23	-0,24
12:30	0,99	1,23	-0,24
12:45	0,99	1,23	-0,24
13:00	0,99	1,23	-0,24
13:15	0,99	1,23	-0,24
13:30	1,01	1,22	-0,21
13:45	1,05	1,22	-0,17
14:00	1,09	1,22	-0,13
14:30	0,93	1,07	-0,14
14:45	0,90	1,15	-0,25
15:00	0,83	1,00	-0,17
15:30	0,73	0,93	-0,20
16:00	0,58	0,68	-0,10
16:30	0,48	0,62	-0,14
17:00	0,34	0,42	-0,08

FIG. 1 - Radiação Líquida Global (—), Radiação Líquida de onda curta (- - -) e Radiação Líquida de onda longa (-x-) sobre a cultura de soja cultivar Industrial em uma densidade de 333.200 Pl/ha. Dia 09/02/1977.

FIG. 2 - Radiação Líquida Global (—). Radiação Líquida de onda curta (---) e Radiação Líquida de onda longa (-x-) sobre a cultura de soja, cultivar Industrial em uma densidade de 250.000 Pl/ha. Dia 10/02/1977.

FIG. 3 - Radiação Líquida Global (—), Radiação Líquida de onda curta (---) e Radiação Líquida de onda longa (-x-) sobre a cultura de soja, cultivar Hardee, em uma densidade de 250.000 Pl/ha. Dia 12/02/1977.

6.2 - Radiação fotossinteticamente ativa (PHAR)

A tabela 4 e a figura 4 mostram os resultados da parcela da radiação global de onda curta que corresponde à radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR_{\downarrow}$) incidente e a radiação absorvida ($PHAR_A$) pela cultura de soja, cultivar Industrial na densidade de população de 333.200 pl/ha.

A figura 8 mostra que com o acréscimo da radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR_{\downarrow}$) incidente nota-se um aumento na absorção dessa radiação ($PHAR_A$) pela cultura. Verifica-se que esse aumento simultâneo ocorre até as 12:00 horas e a partir deste horário ocorre um decréscimo simultâneo dos dois elementos considerados.

O valor médio diário da relação $PHAR_A/PHAR_{\downarrow}$, indica que da radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR_{\downarrow}$) incidente, 84,0% desta radiação foi absorvida pelas folhas das plantas de soja. Resultados similares foram obtidos por SINCLAIR e LEMON (1973) para uma cultura de milho.

Analisando-se os dados da tabela 10 verifica-se que, em média, a radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR_{\downarrow}$) incidente sobre a cultura de soja corresponde a 45,6% da radiação solar global de onda curta. Estando a amplitude de variação em torno de 39,5 a 49,3%. O valor médio encontrado, 45,6%, para as condições de um dia parcialmente coberto com nuvens do gênero cumulus, aproxima-se dos resultados obtidos por MOON (1940) e Mc CREE (1966), SZEICZ (1974) e BRITTON e DODD (1976). Como se observa, na revisão de literatura, os valores encontrados por vários pesquisadores revelam uma diferença muito pequena. Essa va-

riação é atribuída a inclinação dos raios solares bem como à duração do fotoperíodo diário e às condições de nebulosidade.

Tabela 4 - Valores de radiação total de onda curta ($K\downarrow$), infra-vermelho próximo (K_{RG8}), radiação fotossinteticamente ativa ($PHAR\downarrow$) incidente e radiação fotossinteticamente ativa absorvida ($PHAR_A$) e as relações $PHAR\downarrow / K\downarrow$ e $PHAR_A / PHAR\downarrow$.
Cultivar Industrial. Densidade de População de 333.200 pl/ha. Dia 09/02/77.

HORAS	$K\downarrow$	K_{RG8}	$PHAR\downarrow$	$PHAR_A$	Relação $PHAR\downarrow / K\downarrow$ (%)	Relação $PHAR_A / PHAR\downarrow$
8:00	0,71	0,33	0,35	0,28	49,3	0,80
9:00	0,88	0,53	0,35	0,32	39,8	0,91
9:15	1,12	0,63	0,49	0,42	43,8	0,86
9:30	1,14	0,69	0,45	0,43	39,5	0,96
9:45	0,97	0,52	0,45	0,42	46,4	0,93
10:00	1,03	0,59	0,44	0,41	42,7	0,93
10:15	1,09	0,58	0,51	0,43	46,8	0,84
10:45	0,92	0,47	0,45	0,33	48,9	0,73
11:00	1,48	0,85	0,63	0,53	42,6	0,84
11:15	1,58	0,85	0,73	0,68	46,2	0,93
11:30	1,60	0,91	0,69	0,66	43,1	0,96
11:45	1,60	0,85	0,75	0,60	46,9	0,80
12:00	1,60	0,89	0,71	0,58	44,4	0,81
12:15	1,64	0,86	0,78	0,54	47,6	0,69
12:30	1,64	0,91	0,73	0,57	44,5	0,78
12:45	1,40	0,72	0,68	0,60	48,6	0,88
13:00	1,69	0,94	0,75	0,53	44,4	0,71
13:15	1,61	0,85	0,76	0,61	47,2	0,80
13:30	1,63	0,91	0,72	0,58	44,2	0,81
13:45	1,55	0,82	0,73	0,55	47,1	0,75
14:00	1,48	0,82	0,66	0,55	44,6	0,83
14:15	1,20	0,63	0,57	0,42	47,5	0,74
14:30	1,29	0,69	0,60	0,53	46,5	0,88
14:45	1,26	0,66	0,60	0,53	47,6	0,87
15:00	1,20	0,66	0,54	0,48	45,0	0,89
15:15	1,12	0,60	0,52	0,44	46,4	0,85
15:30	1,04	0,56	0,48	0,42	46,2	0,88
15:45	0,98	0,50	0,48	0,40	49,0	0,83
16:00	0,95	0,50	0,45	0,41	47,4	0,91
16:15	0,75	0,41	0,34	0,28	45,3	0,82
16:30	0,71	0,38	0,33	0,27	46,5	0,82

- Relação $PHAR\downarrow / K\downarrow$:

a) Média = 45,6%

b) Amplitude de variação =
39,5% - 49,3%

- Relação $PHAR_A / PHAR\downarrow$ = 84,0%

FIG. 4 - Radiação Fotossinteticamente ativa incidente (—) e absorvida (- - -) pela cultura de soja, cultivar Industrial. Data: 09/02/77.

6.3 - Coeficientes de reflexão

Os valores de coeficiente de reflexão da radiação total de onda curta encontram-se nas tabelas 5, 6 e 7 e figuras 5, 6 e 7.

Para os coeficientes de reflexão da radiação infra-vermelho próximo, os resultados são mostrados nas tabelas 8, 9 e 10 e figura 8.

Analisando os dados das tabelas 5, 6 e 7, verificou-se que, para a cultivar Industrial nos dois níveis de competição, o valor médio diário dos coeficientes de reflexão correspondeu a 22% em uma densidade de população de 333.200 pl/ha e 23% em uma densidade de 250.000 pl/ha. Na cultivar Hardee o valor médio diário correspondeu a 20%, sendo menor do que na cultivar Industrial. Essa diferença é relativamente pequena, mas pode ser explicada pelo fato da cultivar Hardee apresentar folhas de verde mais escuro, o que contribui para uma menor refletividade das folhas.

A amplitude de variação dos coeficientes de reflexão, durante o dia, para a cultivar Industrial, corresponde a 19-29% na menor densidade de população e de 20-25% na maior densidade e 17-24% na cultivar Hardee. Observa-se também que os valores dos coeficientes de reflexão foram maiores na parte da manhã e da tarde que os valores do meio dia. A variação diurna dos coeficientes de reflexão também foi observado por MONTEITH (1959) e BLAD e BAKER (1972) que atribuem esse aumento à reflexão múltipla quando o ângulo de elevação solar é baixo. Entretanto, KUHN e SUOMI (1958), citados por KALMA e BADHAM (1971) e SANTOS (1957), utilizando

refletores parabólicos e HART e ROSENBERG (1958), utilizando piranômetros invertidos, com proteção cilíndrica, observaram quase que nenhuma variação nos valores de coeficiente de reflexão.

Observa-se nas tabelas 8, 9 e 10 que os coeficientes de reflexão da radiação infra-vermelho próximo foram, na cultivar Industrial, 34% e 35% e na cultivar Hardee, 29%. Não houve uma grande diferença entre ambas mas a amplitude de variação dos coeficientes, durante o dia, foi significativamente maior do que os coeficientes de reflexão da radiação total de onda curta.

Analisando-se simultaneamente os valores dos coeficientes de reflexão da radiação solar global e do infra-vermelho próximo, observa-se que nas duas cultivares os coeficientes são maiores na faixa do infra-vermelho próximo, evidenciando que a refletividade das folhas varia com a faixa de comprimento de onda conhecida.

A influência da inclinação dos raios solares sobre os valores dos coeficientes de reflexão foi apreciável durante o dia pois os resultados revelam que ocorreu um aumento dos coeficientes com o acréscimo do ângulo zenital para as faixas do espectro de radiação solar que foram estudadas.

Tabela 5 - Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, com uma densidade de população de 333.200 plantas/hectare.
Dia: 09/02/1977.

Horas	Valores de coeficiente de reflexão	Horas	Valores de Coeficiente de reflexão
8:00	0,29	13:00	0,21
8:15	0,22	13:15	0,21
8:30	0,22	13:30	0,21
8:45	0,26	13:45	0,22
9:00	0,28	14:00	0,22
9:15	0,24	14:15	0,21
9:30	0,19	14:30	0,19
9:45	0,24	14:45	0,19
10:00	0,24	15:00	0,21
10:15	0,23	15:15	0,22
10:30	0,22	15:30	0,23
10:45	0,20	15:45	0,25
11:00	0,24	16:00	0,25
11:15	0,22	16:15	0,23
11:30	0,21	16:30	0,26
11:45	0,22	16:45	0,24
12:00	0,22	17:00	0,27
12:15	0,21	17:15	0,26
12:30	0,21	17:30	0,24
12:45	0,21		
<hr/>			
Média	0,22		
<hr/>			
Amplitude			
de	0,19 - 0,29		
variação			
<hr/>			

Tabela 6 - Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja cultivar Industrial, com uma densidade de população de 250.000 plantas/hectare.
Dia: 10 de fevereiro de 1977.

Horas	Valores de coeficiente de reflexão	Horas	Valores de coeficiente de reflexão
8:00	0,22	12:00	0,21
8:15	0,25	12:15	0,24
8:30	0,23	12:30	0,25
8:45	0,25	12:45	0,21
9:00	0,24	13:00	0,22
9:15	0,22	13:15	0,25
9:30	0,22	13:30	0,25
9:45	0,22	13:45	0,25
10:00	0,24	14:00	0,25
10:15	0,23	14:15	0,24
10:30	0,24	14:30	0,23
10:45	0,22	14:45	0,24
11:00	0,23	15:00	0,20
11:15	0,22	15:15	0,22
11:30	0,21	15:30	0,22
11:45	0,24		
Média	0,23		
Amplitude			
de	0,20 - 0,25		
variação			

Tabela 7 - Valores de coeficiente de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Hardee, com uma densidade de população de 250.000 plantas/hectare.

Dia: 12 de fevereiro de 1977.

Horas	Valores de coeficiente de reflexão	Horas	Valores de coeficiente de reflexão
8:00	0,20	12:30	0,19
8:30	0,20	12:45	0,19
8:45	0,20	13:00	0,19
9:00	0,20	13:15	0,19
9:15	0,20	13:30	0,19
10:00	0,21	13:45	0,21
10:30	0,19	14:00	0,24
10:45	0,18	14:30	0,23
11:00	0,17	14:45	0,17
11:30	0,19	15:00	0,22
11:45	0,19	15:30	0,21
12:00	0,19	16:00	0,23
		16:30	0,21
		17:00	0,22

Média 0,20

Amplitude

de 0,17 - 0,24

variação

FIG. 5 - Radiação solar global de onda curta, Radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, numa densidade de população de 333.200 pl/ha. Data 09/02/77.

FIG. 6 - Radiação solar global de onda curta, Radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Industrial, numa densidade de população de 250.000 pl/ha. Em 10 de fevereiro de 1977.

FIG. 7 - Radiação solar global de onda curta, Radiação refletida e coeficientes de reflexão de uma cultura de soja, cultivar Hardee, numa densidade de população de 333.200 plantas/hectare, Em 12/02/77.

Tabela 8 - Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura da soja, cultivar Industrial, com densidade de população de 333.200 plantas/ha.

Dia: 09 de fevereiro de 1977

Horas	Valores de coeficientes de reflexão	Horas	Valores de coeficientes de reflexão
8:00	0,43	13:00	0,27
8:15	0,43	13:15	0,29
8:30	0,32	13:30	0,27
8:45	0,40	13:45	0,30
9:00	0,40	14:00	0,32
9:15	0,33	14:15	0,30
9:30	0,25	14:30	0,26
9:45	0,38	14:45	0,27
10:00	0,34	15:00	0,29
10:15	0,33	15:15	0,32
10:30	0,34	15:30	0,36
10:45	0,26	15:45	0,40
11:00	0,31	16:00	0,40
11:15	0,29	16:15	0,39
11:30	0,27	16:30	0,43
11:45	0,29	16:45	0,45
12:00	0,29	17:00	0,48
12:15	0,29	17:15	0,44
12:30	0,27	17:30	0,44
12:45	0,32	17:45	0,38

Valor médio = 0,34

Amplitude

de = 0,25 - 0,48

variação

Tabela 9 - Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja, cultivar Industrial, com densidade de população de 250.000 plantas/ha.

Dia: 10 de fevereiro de 1977.

Horas	Valores de coeficientes de reflexão	Horas	Valores de coeficientes de reflexão
8:00	0,35	11:45	0,35
8:15	0,35	12:00	0,31
8:30	0,35	12:15	0,34
8:45	0,36	12:30	0,33
9:00	0,36	12:45	0,29
9:15	0,33	13:00	0,33
9:30	0,33	13:15	0,37
9:45	0,30	13:30	0,40
10:00	0,31	13:45	0,37
10:15	0,33	14:00	0,39
10:30	0,35	14:15	0,34
10:45	0,31	14:30	0,35
11:00	0,34	14:45	0,39
11:15	0,31	15:00	0,38
11:30	0,31	15:15	0,36
		15:30	0,41

Valor médio = 0,35

Amplitude

de = 0,29 - 0,41

variação

Tabela 10 - Valores de coeficientes de reflexão na região do espectro de radiação infra-vermelho próximo em uma cultura ~~da~~ soja, cultivar Hardee, com densidade de população de 250.000 plantas/ha.

Dia: 12 de fevereiro de 1977.

Horas	Valores de coeficientes de reflexão	Horas	Valores de coeficientes de reflexão
8:00	0,37	13:00	0,21
8:30	0,36	13:15	0,21
8:45	0,30	13:30	0,25
9:00	0,29	13:45	0,30
9:15	0,29	14:00	0,28
10:00	0,31	14:30	0,32
10:30	0,30	14:45	0,24
10:45	0,27	15:00	0,33
11:00	0,23	15:30	0,30
11:30	0,26	16:00	0,40
11:45	0,25	16:30	0,37
12:00	0,21	17:00	0,40
12:30	0,21		
12:45	0,21		
Valor médio = 0,29			
Amplitude			
de = 0,21 - 0,40			
variação

FIG. 8 - Coeficientes de reflexão na região do espectro da radiação infra-vermelho próximo em uma cultura de soja nas cultivares Hardee (—) Industrial, com 250.000 Pl/ha, (- - -) e Industrial com 333.200 Pl/ha (-x-x).

6.4 - Radiação transmitida pela cultura

Os resultados da radiação transmitida pela cultura de soja encontram-se na tabela 11 e figuras 9, 10 e 11.

Na época em que foram feitas as medidas da radiação transmitida, a soja encontrava-se na fase de frutificação cobrindo totalmente o solo.

Na cultivar Industrial, os resultados revelam que os valores médios da radiação global transmitida T_G , variaram entre 7,4% e 6,1% nas densidades de população de 333.200 pl/ha e 250.000 pl/ha, respectivamente. Para essas mesmas densidades de população, a radiação infra-vermelho próximo transmitida, T_{IP} , apresentou uma variação entre 14,7% e 12,5%. Isto mostra que, apesar de uma maior densidade de população, não houve uma diferença muito grande na parcela de radiação transmitida na cultivar Industrial. Comparando-se os dados entre as cultivares Industrial e Hardee observa-se que, tanto para a radiação global de onda curta como para a região do infra-vermelho próximo, os valores de radiação transmitida são mais elevados na cultivar Hardee.

Os resultados mostram que o coeficiente de transmissão da radiação global de onda curta (T_G) é inferior a da radiação infra-vermelho próximo (T_{IP}) no interior da cultura; o que foi também verificado por YOCUM et alii (1964) e ALLEN e BROWN (1965). A relação T_G/T_{IP} , nos dois níveis de competição, mostra que a parcela da radiação infra-vermelho próximo transmitida é 50% maior do que a radiação global de onda curta. Este fato é em parte explicável, tendo em vista que ocorre maior absorção na faixa verde e azul do espectro da radiação solar do que na região do infra-vermelho próximo (NIR) e devido à reflexão múltipla causada pelas folhas na região do NIR.

Tabela 11 - Valores de radiação transmitida, em porcentagem, para o espectro total (T_G) e na região do infravermelho próximo (T_{IP}) nas cultivares: Industrial com densidade de população 333.200 pl/ha 9/2/77 - (1)
Industrial com densidade de população 250.000 pl/ha - 10/2/77 - (2)
Hardee com densidade de população 250.000 pl/ha 12/2/77 - (3)

HORAS	RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO					
	ESPECTRO TOTAL			ESPECTRO INFRA-VERMELHO		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
8:00	4	3		14	5	
8:15	6	2		11	13	
8:30	6	4	6	15	6	12
8:45	5	4	7	11	13	10
9:00	7	4	7	18	6	13
9:15	7	4	8	12	13	11
9:30	7	5		16	8	
9:45	8	5		15	13	
10:00	8	4	8	16	10	15
10:15	8	6		16	16	
10:30	8	6	8		12	12
10:45	7	6	13	13	15	17
11:00	9	6	8	20	12	14
11:15	9	7		28		
11:30	9	8	8	28	15	18
11:45	9	6	8	19	17	32
12:00		8	8	18	13	11
12:15	12	9		15	16	
12:30	9		8	17	11	38
12:45	10	9	8	18	16	14
13:00	8	8	8	15	14	27
13:15	9	7	8	16	15	17
13:30	9	9	9	17	11	19
13:45	10	7	11	15	15	17
14:00	9	7	8	15	10	17
14:15	9	7	11	12	18	16
14:30	7			18		
14:45	8	5	10	14	13	17
15:00	8	5	10	17	9	16
15:15	9			13	16	
15:30	6	9	9	11	12	17
15:45	6			12		
16:00	7		10	12		116
16:15	6			8		
16:30	4			12		
16:45	7		8	5		15
17:00	3			9		
17:15	2			4		
MEDIA	7,4	6,1	8,6	14,7	12,5	17,1

Relação T_G/T_{NIR} (1) = 51% (2) = 48% (3) = 50%

FIG. 9 - Radiação transmitida para o espectro total (—) e na região do infra-vermelho (- - -) na cultivar Industrial com densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 10/02/77.

FIG. 10 - Radiação transmitida para o espectro total (—) e na região do infra-vermelho (---) na cultivar Hardee com densidade de população de 250.000 plantas/hectare. Data: 12/02/1977.

FIG. 11 - Radiação transmitida para o espectro total (—) e na região do infra-vermelho (---) na cultivar Industrial com densidade de população de 333.200 Plantas/hectare. Data: 9/02/1977.

7. CONCLUSÕES

As conclusões consideradas principais podem ser assim resumidas:

1) Os coeficientes de reflexão da cultivar Industrial não apresentaram diferenças quando se considerou a densidade de população. O coeficiente de reflexão médio determinado foi de 0,22;

2) A cultivar Hardee apresentou um valor de coeficiente de reflexão inferior ao da cultivar Industrial. O coeficiente de reflexão médio determinado foi de 0,20, com uma amplitude de variação entre 0,17 e 0,24;

3) Os valores de coeficientes de reflexão, quando considerados os comprimentos de onda superiores a $0,7\mu$, mostraram ser diferentes nas duas densidades de plantio e também entre cultivares;

4) A radiação PHAR absorvida pelo dossel vegetativo foi 84,0% da radiação fotossinteticamente ativa

incidente, e esta corresponde a apenas 45,6% da radiação solar global de onda curta;

5) Os valores médios da radiação global transmitida, T_G , no dossel vegetativo da cultivar Industrial, variavam de 7,4% a 6,1% em função das densidades de população;

6) Os valores médios de radiação infra-vermelho próximo transmitida (T_{IP}), na cultivar Industrial, apresentaram uma variação entre 14,7% e 12,5%

7) A cultivar Hardee apresentou valores maiores tanto para T_G como para T_{IP} .

SUMMARY

The studies were carried out aiming at to know the radiation balance in fields grown to soybeans (Glycine max (L.) Merrill, considering two cultivars: Industrial and Hardee.

Research was conducted in the experimental area of the Department of Physics and Meteorology of ESALQ-USP, in the municipality of Piracicaba (SP), latitude 22°42'30,9" South and longitude 47°38'00,0" West, altitude 576 meters, in soil type Terra Roxa Estruturada, series Luiz de Queiroz (Alfisol) according to seventh approximation (RANZANI et alii, 1966).

The radiation balances were realized when crop reached its maximum stage of development. Two bands of wave length were considered in the measures, one from 0.3 to 3.0 μ and the other from 0.7 to 3.0 μ , utilizing spectral pyranometers Eppley with filters WG-7 and RG-8.

The following can be cited as main conclusions:

1) The reflection coefficients of cultivar Industrial showed no differences when density of population was considered. The average reflection coefficient determined was of 0.22;

2) The reflection coefficients value showed by cultivar Hardee was lower than the one of cultivar Industrial. The average reflection coefficients determined was of 0.20, with an amplitude of variation between 0.17 and 0.24;

3) When wave lengths superior to $0,7 \mu$ were considered, the reflection coefficients values showed to be different in both seed rates and also between cultivars;

4) The PHAR radiation absorbed by the vegetative dossal was 84,0% of radiation photosynthetically active incident, and this corresponds to only 45.6% of the global solar radiation of short wave;

5) The average values of the global radiation transmitted, T_G , in the vegetative dossal of cultivar Industrial, varied from 7,4% to 6,1% depending os densities of population;

6) The average values of the near infra-red radiation transmitted (T_{IP}), in cultivar Industrial, showed a variation between 14,7% and 12,5%;

7) The cultivar Hardee showed higher values for both T_G and T_{IP} .

9. LITERATURA CITADA

- ALLEN, L.H., C.S. YOCUM e E.R. LEMON, 1964. Photosynthesis under field conditions. VII. Radiant Energy Exchanges within a corn crop canopy and implications in water use efficiency. Agronomy Journal. Madison, 56:253-259.
- ALLEN, L.H. e E.R. LEMON, 1972. Net radiation frequency distribution in a corn crop. Boundary-Layer Meteorology. Dordrecht-Holanda, 3:246-254.
- ALLEN, L.H. e K.W. BROWN, 1965. Shortwave radiation in a corn crop. Agronomy Journal. Madison, 57: 575-580.
- AUBERTIN, G.M. e D.B. PETERS, 1961. Net radiation determination in a corn field. Agronomy Journal. Madison 53: 269-272.
- BLAD, B.L. e D.G. BAKER, 1972. Reflected radiation from a soybean crop. Agronomy Journal. Madison, 64: 277-280.
- BRITTON, C.M. e J.D. DODD, 1976. Relationship of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. Agricultural Meteorology. Amsterdam, 17:1-7.

- BUTTERY, B.R. 1970. Effects of variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. Crop-Science. Madison, 10:9-13.
- COWAN, I.R. 1968. The interception and absorption on radiation in plant stands. The Journal of Applied Ecology, Oxford. 5:367-379.
- DAVIES, J.A. e P.H. BUTTIMOR, 1969. Reflection coefficients, heating coefficients, and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. Agricultural Meteorological. Amsterdam. 6:373-386.
- DENMEAD, O.T. et alii, 1962. Spatial distribution of net radiation in a corn field. Agronomy Journal. Madison, 54: 505-510.
- DORAISWAMY, P.C. e N.J. ROSENBERG, 1974. Reflectant induced modification of soybean canopy radiation balance. I. Preliminary tests with a Kaolinite reflectant. Agronomy Journal. Madison, 66: 224-228.
- FUNDAÇÃO CARGILL, s.l., 1977. A soja no Brasil Central. 272pp.
- GAY, L.W., 1971. The regression of net radiation upon solar radiation. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B. 19:1-14.
- GRAHAM, W.G. e K.N. KING, 1961. Short wave reflection for a field of maize. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society, 87: 425-428.
- GUPTA, R.K. e J.T. WOOLLEY, 1971. Spectral properties of soybean leaves. Agronomy Journal, Madison, 63:123-126.

- KALMA, J.D. e R. BADHAM, 1971. The radiation balance of a tropical pasture. I. The reflection of short-wave radiation. Agricultural Meteorology. Amsterdam. 10:251-259
- LEMEUR, R. e N.J. ROSENBERG, 1975. Reflectand induced modification of soybean canopy radiation balance. II. A quantitative and qualitative analysis of radiation reflected from a green soybean canopy. Agronomy Journal. Madison, 67: 301-306.
- LIN-SIEN-CHIA, 1967. Albedos of natural surfaces in Barbados. Quarterly Journal Royal Meteorology Society. 93: 116-120.
- LINVILL, D.E. e R.F. DALE, 1975. Population density and sampling location effects on net radiation measurements over corn. Agronomy Journal. Madison, 67:463-468.
- MONTEITH, J.L., 1959. The reflection of shortwave radiation by vegetation. Quarterly Journal Royal Meteorology Society. 85: 386-392.
- MONTEITH, J.L. e G. SZEICZ, 1961. The radiation balance of bare soil and vegetation. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society. 87: 159-169.
- MORE, C. J., 1976. A comparative study of radiation balance above forest and grassland. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society. 102: 889-899.
- RANZANI, G. et alii, 1966. Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos, 85p.

- SANTOS, J. M., 1957. Contribuição aos estudos para determinação do albedo. Piracicaba, ESALQ-USP, 42 p. (Tese de Doutorado).
- SANTOS, O.S. dos, 1975. Variedades e sementes. In.: Cultura da Soja. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais Departamento de Fitotecnia. p. 46. (Boletim Técnico - DF 5),
- SINCLAIR, T.R. e E.R. LEMON, 1973. The distribution of 660 and 730 nm radiation in corn canopies. Solar Energy. 15: 89-97.
- YAO, A.Y. e R.H. SHAW, 1964. Effect of plant population and planting pattern of corn on the distribution of net radiation. Agronomy Journal. Madison, 56: 165-169.
- YOCUM, C.S., L.H. ALLEN e E.R. LEMON., 1964. Photosynthesis under field conditions. VI. Solar radiation balance and photosynthetic efficiency. Agronomy Journal. Madison, 56: 249-253.

A P Ê N D I C E

Valores instantâneos de radiação infra-vermelho próximo incidente e refletida em uma cultura de soja

HORAS	Industrial 332.200 pl/ha.		Industrial 250.000 pl/ha.		Hardee 250.000 pl/ha.	
	K _{RG8}	K _{RG8}	K _{RG8}	K _{RG8}	K _{RG8}	K _{RG8}
8:00	0,14	0,06	0,31	0,11	0,27	0,10
8:15	0,28	0,12	0,37	0,13		
8:30	0,31	0,10	0,40	0,14	0,33	0,12
8:45	0,42	0,17	0,47	0,17	0,46	0,14
9:00	0,53	0,21	0,50	0,18	0,52	0,15
9:15	0,63	0,21	0,48	0,16	0,55	0,16
9:30	0,69	0,17	0,48	0,16		
9:45	0,52	0,20	0,53	0,16		
10:00	0,59	0,20	0,59	0,18	0,62	0,19
10:15	0,58	0,19	0,70	0,23		
10:30	0,59	0,20	0,66	0,23	0,63	0,19
10:45	0,47	0,12	0,71	0,22	0,70	0,19
11:00	0,85	0,26	0,64	0,22	0,77	0,18
11:15	0,85	0,25	0,74	0,23		
11:30	0,91	0,25	0,72	0,22	0,82	0,21
11:45	0,85	0,25	0,66	0,23	0,83	0,21
12:00	0,89	0,25	0,72	0,22	0,82	0,17
12:15	0,86	0,25	0,67	0,23		
12:30	0,91	0,25	0,70	0,23	0,82	0,17
12:45	0,72	0,23	0,79	0,23	0,78	0,16
13:00	0,94	0,25	0,66	0,22	0,82	0,17
13:15	0,85	0,25	0,63	0,23	0,82	0,17
13:30	0,91	0,25	0,58	0,23	0,83	0,21
13:45	0,82	0,25	0,63	0,23	0,83	0,25
14:00	0,82	0,26	0,59	0,23	0,89	0,25
14:15	0,63	0,19	0,62	0,21		
14:30	0,69	0,18	0,69	0,24	0,78	0,25
14:45	0,66	0,18	0,46	0,18	0,72	0,17
15:00	0,66	0,19	0,55	0,21	0,67	0,22
15:15	0,60	0,19	0,70	0,25		
15:30	0,56	0,20	0,27	0,11	0,64	0,19
15:45	0,50	0,20				
16:00	0,50	0,20			0,40	0,16
16:15	0,41	0,16				
16:30	0,38	0,17			0,35	0,13
16:45	0,30	0,13				
17:00	0,25	0,12			0,25	0,10
17:15	0,18	0,08				
17:30	0,16	0,07				
17:45	0,08	0,03				

A P Ê N D I C E

Valores instantâneos de radiação solar global de onda curta incidente e refletida em uma cultura de soja.

HORAS	Industrial 333.200 pl/ha.		Industrial 250.000 pl/ha.		Hardee 250.000 pl/ha.	
	K↓	K↑	K↓	K↑	K↓	K↑
8:00	0,42	0,12	0,58	0,13	0,69	0,14
8:15	0,58	0,13	0,64	0,16		
8:30	0,55	0,12	0,75	0,17	0,80	0,16
8:45	0,78	0,20	0,80	0,20	0,87	0,17
9:00	0,86	0,24	0,91	0,22	0,95	0,19
9:15	1,10	0,26	0,89	0,20	1,00	0,20
9:30	1,13	0,22	0,89	0,20		
9:45	0,99	0,24	0,93	0,20		
10:00	1,02	0,24	1,02	0,24	1,17	0,24
10:15	1,06	0,24	1,20	0,28		
10:30	1,47	0,33	1,19	0,28	1,24	0,24
10:45	0,85	0,17	1,28	0,28	1,36	0,24
11:00	1,40	0,33	1,21	0,28	1,43	0,24
11:15	1,51	0,33	1,29	0,28		
11:30	1,54	0,32	1,40	0,29	1,47	0,28
11:45	1,51	0,33	1,18	0,28	1,47	0,28
12:00	1,51	0,33	1,36	0,28	1,47	0,28
12:15	1,54	0,32	1,18	0,28		
12:30	1,54	0,32	1,10	0,28	1,47	0,28
12:45	1,54	0,32	1,36	0,28	1,47	0,28
13:00	1,54	0,32	1,29	0,28	1,47	0,28
13:15	1,54	0,32	1,14	0,28	1,47	0,28
13:30	1,54	0,32	1,10	0,28	1,50	0,28
13:45	1,47	0,33	1,14	0,28	1,54	0,32
14:00	1,43	0,32	1,12	0,28	1,61	0,39
14:15	1,14	0,24	1,10	0,26		
14:30	1,25	0,24	1,04	0,24	1,39	0,32
14:45	1,25	0,24	0,89	0,21	1,39	0,24
15:00	1,18	0,25	0,70	0,14	1,28	0,28
15:15	1,10	0,24	0,60	0,13		
15:30	1,03	0,24	0,58	0,13	1,17	0,24
15:45	0,95	0,24				
16:00	0,95	0,24			0,88	0,20
16:15	0,88	0,20				
16:30	0,77	0,20			0,78	0,16
16:45	0,66	0,16				
17:00	0,51	0,14			0,54	0,12
17:15	0,38	0,10				
17:30	0,33	0,08				
17:45	0,22	0,04				