

**RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA E SUA RELAÇÃO COM A
RADIAPAO SOLAR GLOBAL EM DOSEL DE ALFAFA, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE
ÁREA FOLIAR**

**PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION AND ITS RELATIONSHIP TO
GLOBAL SOLAR RADIATION IN AN ALFALFA CANOPY AS A FUNCTION OF LEAF
AREA INDEX**

Solange França¹, Luis Mauro Gonçalves Rosa^{1,2}, Homero Bergamaschi¹, Carlos Nabinger¹ e Paulo Spanennberg¹

RESUMO

A quantidade total de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida é o principal determinante da taxa de crescimento e da produtividade das culturas. Entretanto, em estações meteorológicas padrão, somente a radiação solar global (Rs) é disponível. Para estimar a quantidade de PAR disponível para a cultura, é necessário, então, estimar a razão entre PAR e Rs (PAR/Rs). Os objetivos deste estudo foram: determinar a fração de PAR dentro da Rs na Estação Experimental Agronômica (EEA/UFRGS), e os efeitos do dossel nesta relação sob céu claro e sob céu nublado. A razão PAR/Rs horária foi de $0,42 \pm 0,02$, considerando os horários entre 8 h e 17 h. A PAR incidente representa a quantidade de radiação que chega no topo da cultura e a PAR transmitida a radiação que passa através da cultura e atinge níveis inferiores do dossel. O modelo que melhor se ajustou para PAR incidente em função do da Rs é descrita pela equação $PAR_{inc} = -0,30 + 1,94 Rs$, e para PAR transmitida o modelo ajustado foi $PAR = 0,68 + 1,99 Rs$. Os aumentos de IAF determinaram maior interceptação e maior absorção da PAR incidente, refletindo-se em menor transmissão da PAR.

Palavras-chave: radiação

Fotossinteticamente ativa, dossel, radiação do solar, alfafa, índice de área foliar.

Of the solar radiation incident on a crop, only the photosynthetically active radiation (PAR) is used in the photosynthesis process. The total amount of absorbed PAR is the main factor determining plant growth and yield. However, in standard meteorological stations only the short wave solar radiation (300 to 3000 nm) is recorded. Therefore, it is necessary to estimate the amount of PAR into the total radiation (PAR/Rs) in order to estimate the amount of PAR available for the plants. The objectives of this study were to determine the fraction of PAR into the total solar radiation at the Agronomical Experimental Station (EEA/UFRGS), and the effects of the plant canopy on this relationship under clear and cloudy skies. The mean hourly fraction of PAR/Rs was 0.42 ± 0.02 considering the hours between 8:00 and 17:00. Incident PAR is the amount of radiation that reaches the top of the canopy, and transmitted PAR is the amount of this radiation that passes through the canopy and reaches the ground. The best fitted model for incident PAR as a function of Rs is determined by the equation $PAR_{inc} = -0.30 + 1.94 Rs$, and for transmitted PAR by the equation $PAR = 0.68 + 1.99 Rst$. Increases in LAI caused greater interception and absorption of the incident PAR, which resulted in smaller transmission values.

Key words: photosynthetically active radiation, canopy, solar radiation, alfalfa, leaf area index.

INTRODUÇÃO

O rendimento alcançado por uma cultura é determinado, principalmente, pela oferta sazonal de

SUMMARY

¹ Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia - UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 91501-970, Porto Alegre - RS.

² Autor para correspondência

energia solar cuja utilização é condicionada por outros elementos, como umidade do solo e temperatura - (HEALTH *et al.*, 1985). A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Sendo assim, a produção final de matéria seca de uma planta depende, em última instância, da eficiência com que as folhas convertem energia química através da fotossíntese (ASSIS & MENDEZ, 1989).

A quantidade de radiação solar retida (interceptada e absorvida) no dossel é dependente de vários fatores físicos e biológicos, como a posição solar, geometria, tamanho, anatomia e idade da folha, arranjo e estrutura das plantas (PEREIRA *et al.*, 1982).

A radiação solar no comprimento de onda de 700 nm, que excita moléculas de clorofila e que dá início ao fluxo de energia requerida na fotossíntese, é denominada radiação fotossinteticamente ativa - PAR (McCREE, 1972).

O conhecimento do fluxo de PAR incidente é um parâmetro necessário em aplicações na área de fisiologia vegetal e produção de biomassa. sendo importante na modelagem de fotossíntese de folhas, de plantas isoladas, ou comunidades complexas (ALADO *et al.*, 1996).

Em estações meteorológicas padrão é norma apenas a medição da radiação solar global (RS), sendo então necessária a conversão desta para radiação fotossinteticamente ativa (PAR). A PAR é rotineiramente estimada como uma proporção constante do espectro total da RS, representando, em média, cerca de 50% da mesma (VAN HEEMST, 1986). Muitos parâmetros podem afetar esta relação: por exemplo, a pressão atmosférica, a elevação solar, a turbidez atmosférica e a precipitação pluvial (ALADOS *et al.*, 1996). A determinação da relação entre PAR e RS deve ser próximo à área experimental a fim de eliminar diferenças geográficas e climáticas. Para a Depressão Central do Rio Grande do Sul, PANDOLFO (1995) obteve valores médios de 43,4% para radiação fotossinteticamente ativa em relação à radiação solar global.

A principal determinante da taxa de crescimento das plantas e da produtividade final da cultura é a quantidade total de PAR absorvida (PAR_a), sendo esta uma função da quantidade de PAR incidente. Isto fundamenta-se na evidência de que, praticamente toda a matéria seca das plantas superiores tem origem na fotossíntese (GOOD & BEL., 1980).

Uma das primeiras e mais utilizadas tentativas de descrever a penetração de radiação solar, em uma comunidade vegetal, foi a aproximação feita por MONSI & SAEKI (1953), tal que:

$$I = I_0 * e^{-K IAF}$$

sendo K o coeficiente de extinção da radiação solar, IAF o índice de área foliar e I e I_0 o fluxo de radiação solar na superfície do solo e acima da vegetação, respectivamente.

A modelagem do crescimento e produtividade das plantas é de grande importância para estudos das respostas das culturas às alterações climáticas bem como a estimativa de rendimento potencial das culturas. A radiação fotossinteticamente ativa é um parâmetro indispensável nos modelos que visam quantificar a produção de biomassa e a eficiência fotossintética das plantas. A estimativa da relação entre PAR e R_s permite que se utilize dados de estações meteorológicas padrão nestes modelos.

Este trabalho teve como objetivos determinar a fração da radiação fotossinteticamente ativa contida na radiação solar global incidente e transmitida em um dossel de alfafa, avaliar a variação diária e sazonal desta fração e a penetração da radiação no dossel em função do índice de área foliar, sob diferentes espaçamentos, em condições de céu limpo e de céu nublado.

MATERIAL E MÉTODOS

As medidas e observações do presente trabalho foram realizadas na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) no outono de 1995, numa cultura de alfafa (Medicago sativa L. cv. crioula) estabelecida em 1992 sob dois espaçamentos entre linhas: 30 e 90 cm (PANDOLFO, 1995). A EEA/UFRGS localiza-se no município de Eldorado do Sul (RS), região climática da Depressão Central (latitude: 30°05', longitude: 51°39' W, altitude: 46 metros).

O clima da região é subtropical úmido, com a radiação global mais elevada no mês de dezembro, cuja média diária é de 20 MJ dia⁻¹, enquanto junho apresenta a menor média diária: 8 MJ dia⁻¹. (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1990).

No dia 11 de abril de 1995 a alfafa recebeu um corte próximo ao solo, sendo posteriormente realizada uma adubação em cobertura de 178 kg/há de nitrogênio na forma de uréia para reduzir os efeitos de possíveis deficiências nutricionais em nitrogênio e uniformizar o desenvolvimento da cultura. No período compreendido entre 26 de abril a 9 de julho de 1995 foram iniciadas as avali-

ações, coletando-se amostras em intervalos de 7 dias, para determinação da massa de matéria seca aérea e

da área específica foliar. Na coleta das amostras foi utilizado um quadrilátero de 0,5 m de base, retirando-se material de quatro fileiras para o espaçamento de 30 cm (amostra de 0,6 m²) e duas fileiras para o espaçamento de 90 cm (0,9 m²).

Todas as estimações foram feitas com base na massa de matéria seca, obtida por secagem e estufa com circulação de ar forçada à temperatura constante de aproximadamente 70°C até atingir peso constante.

O índice de área foliar (IAF) em cada data de amostragem foi estimado em função da massa seca de folhas por área e da área específica das folhas. A massa seca de folhas foi estimada a partir da massa de matéria seca total e da relação folha/caule. Para estimativa da relação folha/caule utilizaram-se duas sub-amostras por tratamento nas quais separaram-se os folíolos (com pecíolo) do restante.

Para determinação da área específica das folhas mediu-se aproximadamente 500 cm² de área foliar, em planímetro eletrônico portátil (LI-3000, LI-COR Inc), dividindo-se a área foliar pela massa de matéria seca das folhas correspondentes. O IAF foi calculado multiplicando-se a área específica das folhas pela massa de matéria seca total e dividindo pela área de terreno amostrado.

A radiação solar global foi medida por meio de piranômetro (LI200X, LI-COR, Inc) acoplado a uma estação meteorológica automática (modelo W2000, Campbell Scientific), localizada a, aproximadamente, 150 m da área experimental.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi medida através de conjuntos de células de silício amorfo. Cada conjunto era composto por seis sensores ligados em paralelo, espaçados de 15 em 15 cm para adequação aos espaçamentos entre linhas utilizados no experimento, montados de acordo com metodologia de

PANDOLFO (1995). Os conjuntos de sensores foram previamente aferidos em relação a um "Quantum Sensor" (LI190SB, LI-COR, Inc.). Os sensores foram conectados a um sistema automatizado de coleta de dados (CR 10, Campbell Scientific) sendo as leituras registradas em intervalos de 15 min e os totais diários obtidos pela integração destes registros, considerando o período das 8h às 17h.

A PAR recebeu denominação conforme o local de medição na cultura, sendo PAR incidente (PAR_{inc}) a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega no topo da cultura, e PAR transmitida (PAR_t) a parte desta radiação que passa através da cultura e atinge níveis inferiores

do dossel ou o nível do solo. Assim, PAR interceptada (PAR_{int}) é a quantidade de PAR incidente menos a PAR transmitida:

$$\text{PAR}_{\text{int}} = \text{PAR}_{\text{inc}} - \text{PAR}_{\text{t}} \quad (1)$$

A PAR absorvida (PAR_a) foi determinada pelo balanço:

$$\text{PAR}_{\text{a}} = \text{PAR}_{\text{inc}} - \text{PAR}_{\text{t}} - \text{PAR}_{\text{resp}} + \text{PAR}_{\text{rs}} \quad (2)$$

sendo os componentes de PAR medidos na seguinte disposição: PAR incidente (PAR_{inc}), a 1,7 m acima do solo; PAR refletida por solo + plantas (PAR_{resp}), a 1,7 m acima do solo; PAR refletida pelo solo (PAR_{rs}), a 0,05 m do solo; PAR transmitida (PAR_t), a 0,08 m acima do solo.

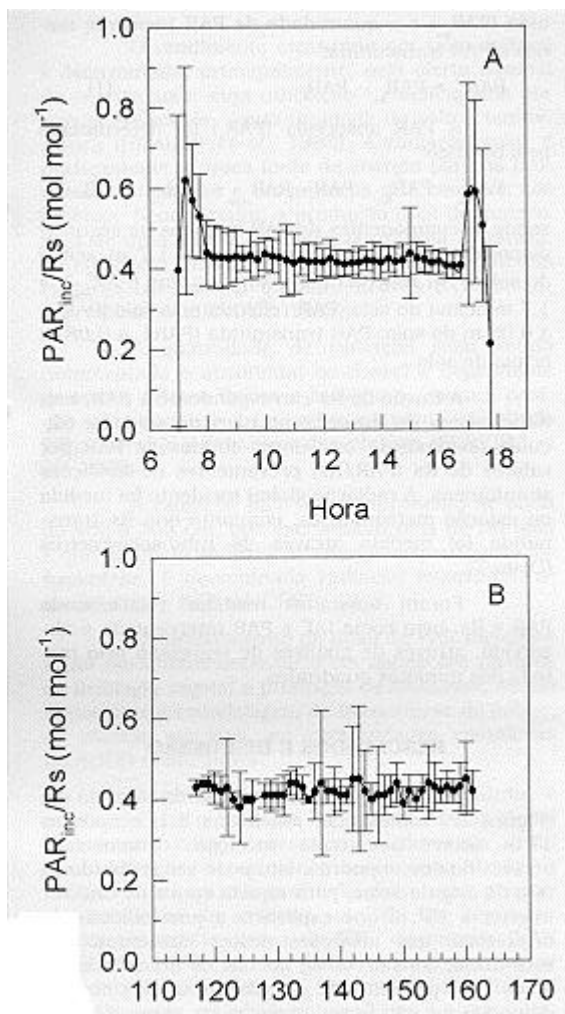
A fração de Rs correspondente à PAR, medidas acima do dossel e ao nível do solo, foi calculada dividindo-se os valores obtidos de PAR por valores de Rs (PAR/Rs) provenientes de medições simultâneas. A radiação global incidente foi medida na estação meteorológica, enquanto que Rs transmitida foi medida através de tubos solarímetros (Del ta-T).

Foram ajustados modelos relacionando PAR e Rs, bem como IAF e PAR interceptada e absorvida, através de análises de regressão pelo método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A razão PAR/Rs em função da hora do dia (Figura 1A) indica que, antes das 8 h e após as 17 h, ocorre acentuada variação, demonstrada através do desvio padrão. Isto pode ser atribuído ao fato do ângulo solar, para aquela época do ano ser inferior a 15°, o que explicaria a possibilidade de imprecisão nas medições destes elementos. Por esta razão considerou-se apenas os horários entre 8 h e 17 h para fins de cálculo. Os valores obtidos demonstram não haver variação na razão PAR/Rs em função da hora do dia, embora PANDOLFO (1995) tenha encontrado diferenças neste sentido. MEEK *et al.* (1984) descrevem que a fração de PAR em Rs é maior nos horários próximos ao nascer do sol e menores nos horários próximos ao zênite, a diferença em relação a este trabalho pode ser devida à utilização do intervalo entre 8 h e 17 h. ALADOS *et al.* (1996), na análise dos valores horários revelam um modelo diário com menores valores da razão entre o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos com o espectro total da Rs em torno do meio-dia.

A média da razão horária PAR_{inc}/Rs foi de 0,42 +- 0,02 (mol mol⁻¹, média +- desvio padrão) considerando todo o período experimental (26 de abril de 9 de julho de 1995), incluindo dias nublados e



Dia do ano

Figura 1. Relação do entre PAR/Rs em fun(,ao da hora do dia (A) e da época do ano (B) , para o período de 26 de abril a 11 de julho de 1995, em Eldorado do Sul - RS.

ensolarados. Resultado semelhante foi obtido por PANDOLFO (1995), cuja razão PAR/Rs foi de 0,434 (mol mol^{-1}) com um coeficiente de variação de 0,07, para o período compreendido entre 27 de outubro de 1992 e 09 de fevereiro de 1993, no mesmo local, mas no período entre 7 h e 12 h. PEREIRA *et al.* (1982) descreveram que, para elevações solares maiores que 20° e em condições de céu claro, a razão PAR/Rs foi de 0,46. Sendo assim, os resultados obtidos estão dentro dos limites registrados por vários autores. As variações que ocorreram na razão PAR/Rs, em comparação com esses trabalhos foram da ordem de 2 à 9%, possivelmente provenientes de um conjunto de fatores como condições atmosféricas, ângulo de inclinação dos raios solares, instrumentação usada, tipos de sensores,

limites dos espectros medidos, métodos experimentais e análise dos dados coletados.

É interessante observar que esta razão se manteve relativamente constante ($0,42 \pm 0,03 \text{ mol mol}^{-1}$) durante todo o período experimental (Figura 1B), variando apenas em função das condições atmosféricas dos diferentes dias, PANDOLFO (1995) obteve média de PAR/Rs de $0,43 \text{ mol mol}^{-1}$, na mesma região no período de primavera-verão. Esta combinação de resultados sugere não haver diferença sazonal na razão PAR/Rs.

HODGES & KANEMASU (1977) registraram o valor de $2,17 \mu\text{mol J}^{-1}$ em Manhattan (EUA), na primavera e outono, enquanto HODGES *et al.* (1979), para o mesmo local no verão, encontraram $2,55 \mu\text{mol J}^{-1}$.

Vários resultados experimentais indicam uma variação da razão PAR/Rs na faixa de $2,0$ a $2,5 \mu\text{mol J}^{-1}$ (VARLET-GRANCHER *et al.*, 1981; HOWELL *et al.*, 1983; MEEK *et al.*, 1984). Convertendo-se os valores encontrados neste estudo de mol mol^{-1} para $\mu\text{mol J}^{-1}$ se obtém um valor de 2,38 para a razão PAR/Rs, dentro da faixa de variação encontrada pelos autores acima citados.

A razão PAR/Rs é linear (Figura 2A) e pode ser descrita pela equação $\text{PAR}_{\text{inc}} = -0,30 + 1,94 \text{ Rs}$, considerando as unidades adotadas para PAR_{inc} ($\text{Mol M}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Rs ($\text{Mj M}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). ASSIS & MENDEZ (1989) determinaram a equação $\text{PAR}_{\text{inc}} = -0,93 + 2,23 \text{ Rs}$, com um coeficiente de correlação de 0,987, para o período de dezembro de 1982 a novembro de 1983, em Pelotas (RS). Para ASSUNÇÃO & BARBIERI (1995) a regressão linear correspondente ao fluxo de fótons fotossintéticos em função da radiação global, independente das condições atmosféricas foi $\text{PAR}_{\text{inc}} = 1,95 \text{ Rs}$, para a região de Piracicaba (SP).

A Figura 2B mostra linearidade na razão entre PAR_t e Rs_t , para a faixa de variação de IAF considerada neste experimento. Medidas simultâneas de Rs_t transmitida (Rs_t) e PAR_t transmitida (PAR_t) demonstram que, com o aumento do IAF ocorre redução na transmissão da radiação.

Considerando-se a variação do índice de área foliar (Figura 3A), observa-se que um maior IAF (superior à 1,5) determina uma maior interceptação da radiação global em comparação a um baixo IAF (inferior à 1,5). O contrário se aplica à razão PAR_t/Rs_t (Figura 3B).

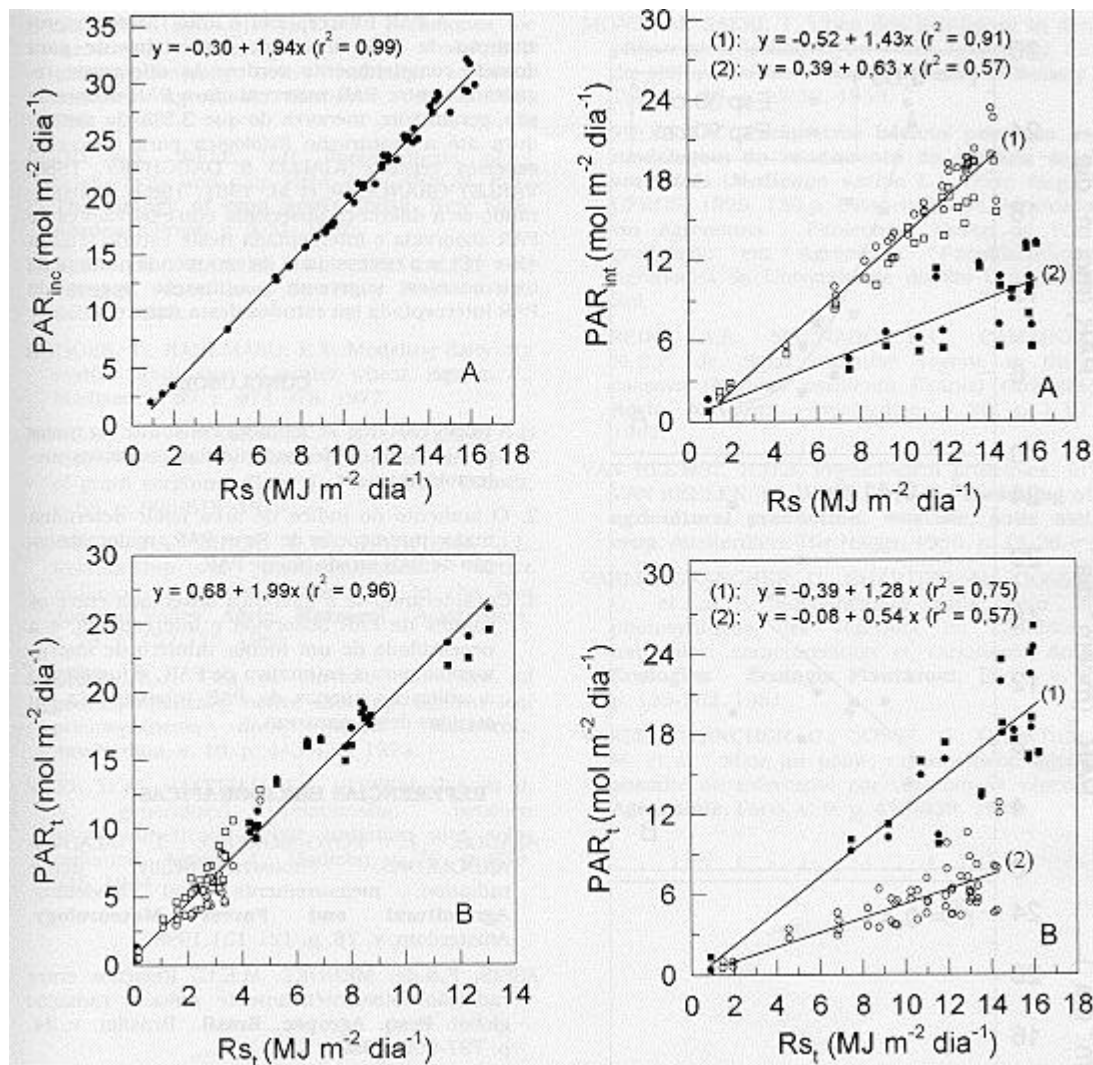


Figura 2. Relação entre PAR_{inc} e R_s (A) e entre PAR_t e R_s em uma comunidade de alfafa (B), para o período de 26 de abril a 1º de julho de 1995, em Eldorado do Sul – RS. Símbolos vazados representam IAF superior à 1,5 e cheios IAF inferior a esse limite.

O aproveitamento da radiação solar incidente pelas culturas está associado ao IAF e outros parâmetros físicos, biológicos e geométricos que determinam a transmissão, interceptação e absorção de PAR. Observa-se na Figura 4A que aumentos no IAF causam redução de PAR_t , porém tendendo à estabilização em valores de IAF maiores do que 2,0.

Figura 3. Relação entre R_s e PAR_{inc} (A) e PAR_t (B), em uma comunidade de alfafa. Eldorado do Sul – RS. Símbolos vazados representam IAF superior à 1,5 e cheios IAF inferior a esse limite.

Aumentos de IAF acarretam maior interceptação (Figura 4B), bem como maior absorção (Figura 4C) de PAR, independente de espaçamentos entre fileiras. A grande dispersão dos pontos na Figuras 4B e 4C, pode ser atribuída à desuniformidade na população e no desenvolvimento das plantas.

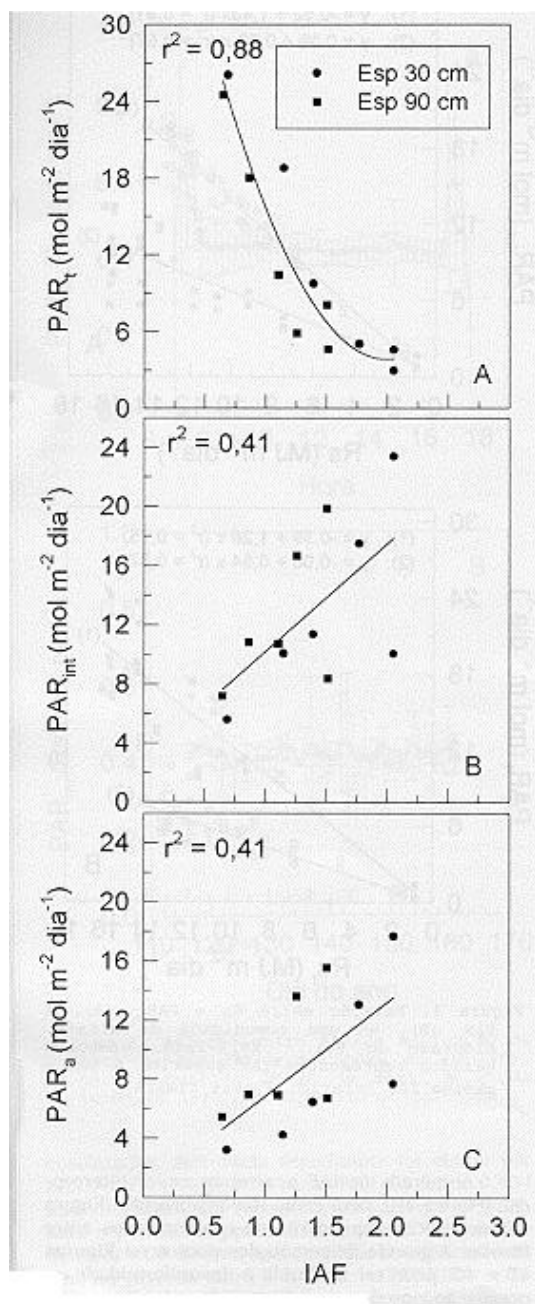


Figura 4. Relação entre IAF e PAR_t (A), PAR_{int} (B) e PAR_a (C) em uma comunidade de alfafa. Eldorado do Sul – RS, 1995

A PAR interceptada é uma razoável aproximação de PAR absorvida, especialmente para dosséis completamente verdes. As diferenças registradas entre PAR interceptada e PAR absorvida

são, geralmente, menores do que 3,5%, da sementeira até a maturação fisiológica para diferentes espécies vegetais (GALLO & DAUGHTRY, 1986; VARLET-GRANCHER et al. 1981, 1989). Considerando-se a diferença observada entre os valores de PAR absorvida e interceptada neste estudo (Figura 4B e 4C), e a necessidade de um menor número de instrumentos, sugere-se a utilização apenas da PAR interceptada em estudos desta natureza.

CONCLUSÕES

1. A razão PAR/R_s , se mantém constante na maior parte do dia, independente das condições meteorológicas.
2. O aumento do índice de área foliar determina maior interceptação de R_s e PAR, maior absorção de PAR e redução de PAR.
3. Considerando-se a diferença observada entre os valores de PAR absorvida e interceptada, e a necessidade de um menor número de instrumentos para a estimativa de PAR, é justificada a utilização apenas da PAR interceptada em estudos desta natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALADOS, I., FOYO-MORENO, I, ALADOS-ARBOLEDAS. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 78, p. 121-131,1996.

ASSIS, F.N.de, MENDEZ, M.E.G. Relações entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesq. Agropec. Brasil.**, Brasília, v. 24, p. 797-800, 1989.

ASSUNÇÃO, H.F. da, BARBIERI, V. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa e a sua distribuição espectral horária para Piracicaba SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande - PB. **Anais....** Campina Grande, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. 500 p., p. 286-289.

BERGAMASCHI, H., GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Agronômica**. UFRGS, Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, 1990.91

GALLO K.P. DAUGHTRY, C.S.T. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. **Agron. J.**, Madison, v.78, p.752-756,1986.

GOOD, N.E., BELL, D.H. Photosynthesis, plant productivity and crop yield. In: **CARSON, P.S.**. **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, p. 3-51, 1980.

HEALT. M., BARNES, R., MELTCALFE, D.; **Forages**. Ames, Iowa University Press, 4 ed., 643p., 1985.

HODGES. T., KANEMASU, E.T. Modeling daily dry matter production of winter wheat. **Agron. J.**, Madison, v.69. p. 974-978, 1977.

HODGES, T., KANEMASU, E.T., TEARE, I. Modeling daily dry matter production and yield of grain sorghum. **Can. J. Plant Sci.**, Ottawa, v.59, p. 803-819, 1979.

HOWELL, TA., MEEK, D.W., HATIFIELD, J.L. Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. **Agric. Meteorol.**, Amsterdam, v.28, p. 157-175, 1983.

McCREE, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agric. Meteorol.**, Amsterdam, v.10, p.443-453 1972.

MEEK. D.W., HATFIELD, J.L., HOWELL, T.A. et al. A generalized relationship between photosynthetically active radiation and solar radiation. **Agron. J.**, Madison, v.76, p.939-945,

1984.

MONSI, M, SAEKI, T. Uben den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften un seine bedeutung fur die stoff produktion . **Japan Journal of Botany**, Tokio, v.14, p.22-52, 1953.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. Porto Alegre, UFROS, 1995.130 p. Dissertação de. Mestrado em Agronomia - Fitotecnia., Curso de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia da Universidade do Rio Grande do Sul.

PEREIRA, A.R., MACHADO, E.C., CAMARGO, M.B.P. de. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopies. **Agric. Meteorol.**, Amsterdam, v.26, p.1-10, 1982.

VAN HEEMST, H.D.J. Physiological principles. In: VAN KEULEN, H., WOLF. J. (Eds.) **Modelling of agricultural production: weather, soils and crop**. Amsterdam, The Hagge, 1986. p.13-26.

VARLET-GRANCHER, C., CHARTIER, M., GOSSE, G. et al. Rayonnement utile pour la photosynthese des végétaux en conditions naturelles: caractérisation et variations. **Acta Ecologica - Ecologia Plantarum**. Paris, v.2, p.189-202,1981.

VARLET-GRANCHER, C., GOSSE, G., CHARTIER, M. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert vegetal. **Agronomie**, Paris, v.9, p.419-439, 1989.