

# MODELO DE ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA O MUNICÍPIO DE SANTA HELENA-PR COM PARTIÇÃO SAZONAL

Regiane S. Fagundes<sup>1</sup>, Reinaldo P. Ricieri<sup>2</sup>, Leidiane Schütz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Matemática, Mestranda, Departamento de Engenharia Agrícola, UNIOESTE/ Cascavel-Pr, (0XX45)332145555, e-mail: [regianesl@uol.com.br](mailto:regianesl@uol.com.br)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof<sup>o</sup> Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UNIOESTE/ Cascavel-Pr.

<sup>3</sup> Acadêmica de Engenharia de Pesca, Departamento de Engenharia de Pesca, UNIOESTE/ Toledo-Pr,

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

**RESUMO.** A irradiação solar fotossinteticamente ativa (PAR - Photosynthetically Active Radiation) desempenha papel importante no desenvolvimento das plantas, pois é responsável pelo processo químico que excita as moléculas de clorofila, iniciando o fluxo de energia requerido na fotossíntese. No estado do Paraná foram realizadas poucas pesquisas, devido o custo dos instrumentos. Objetiva-se neste trabalho apresentar um modelo matemático para estimar a irradiação fotossinteticamente ativa (PAR) em função da irradiação solar global (Glo) incidente na superfície. A base de dados foi adquirida no período 01/08/03 à 01/03/05 na Estação experimental agrometeorológica Cascavel/UNIOESTE/PR, montada no município de Santa Helena/PR. O modelo foi gerado por regressão linear simples utilizando dados de 1 ano (23/09/03 à 22/09/04) com partição Sazonal, fornecendo as determinadas equações:  $PAR_{pri} = 0,349 * Glo$  (primavera);  $PAR_{ver} = 0,344 * Glo$  (verão);  $PAR_{out} = 0,373 * Glo$  (outono);  $PAR_{inv} = 0,368 * Glo$  (inverno), com elevado coeficiente de correlação que variou de  $R^2 = 86,00\%$  à  $97,12\%$ . Na validação do modelo utilizou-se os dados restante obtendo-se um desvio médio dos erros variando de  $6,86\%$  a  $15,95\%$  com um desvio padrão médio residual na ordem de  $0,584 \text{ } 1,361(MJ/m^2)$  mostrando que a irradiação PAR, pode ser estimada em função da irradiação global, com boa precisão.

**PALAVRAS CHAVES:** irradiação, modelagem, estações do ano.

## MODEL OF EVALUATION OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE SOLAR RADIATION FOR THE CITY OF SANTA HELENA – PR, BRAZIL

**Abstract:** The photosynthetically active solar radiation (PAR – Photosynthetically Active Radiation) performs an important function for the plants development, because it is responsible by chemical process that excites the chlorophyll molecules, starting the energy flux required in the photosynthesis. Few researches were made in the state of Parana, because of the instruments costs. This paper aims to show a mathematical model to evaluate the PAR in function of the global solar radiation (Glo) incident on the surface. The data basis were acquired between 01/08/03 and 01/03/05 at Agrometeorological Experimental Station (*Estação Agrometeorologica Experimental*) from Cascavel/UNIOESTE/PR, set in the city of Santa Helena/PR. The model was generated by simple linear regression using data from one year (23/09/03 to 22/09/04) with seasonal partition, providing the following equations:  $PAR_{pri} = 0,349 * Glo$  (spring);  $PAR_{ver} = 0,344 * Glo$  (summer)  $PAR_{out} = 0,373 * Glo$  (autumn);  $PAR_{inv} = 0,368 * Glo$  (winter), with elevated coefficient of correlation that varied from  $R^2 = 86,00\%$  to  $97,12\%$ . The remaining data were used to validate the model, obtaining a medium deviation of the errors varying from  $6,86\%$  to  $15,95\%$  with medium residual pattern deviation in the order of  $0,584 \text{ } 1,361(MJ/m^2)$  showing that radiation PAR can be evaluated in function of global radiation with good precision.

**Key-words:** radiation, modeling, seasons of the year

**INTRODUÇÃO:** A irradiação solar fotossinteticamente ativa (PAR - Photosynthetically Active Radiation), componente da irradiação global, constitui a faixa visível do espectro que vai de 0,38µm (violeta) a 0,7µm (vermelho) (McCree, 1966). Esta componente é responsável pelo início do processo químico que ocorre nos cloroplastos resultando na liberação de oxigênio molecular e na captura de dióxido de carbono da atmosfera, que é utilizado para sintetizar os carboidratos (Raven, Evert & Eichhorn 2001). Segundo Alados & Alados-Arboledas(2000), o conhecimento PAR se faz necessário em diferentes aplicações, sendo requerida na estimativa da luz interceptada para fins de modelagem de fotossíntese em comunidades e plantas simples e complexas. Alvalá & Silva(2000) afirmaram que a PAR se faz necessária também na caracterização do crescimento e morfologia de plantas, bem como na estimativa de competição e avaliação da interação entre elas. A Radiação PAR é medida por piranômetro com sensor quântico, acoplado uma aquisição de dados. Estes instrumentos são de alto custo, o que justifica a determinação de equações para estimar esta componente. Vários trabalhos apresentam equações de estimativas da PAR global através de diversos parâmetros que são medidos com rotina na maioria das estações meteorológicas internacionais (McCree,1966; Papaioannou et al., 1993). No Brasil, vários pesquisadores têm trabalhado no sentido de caracterizar a irradiação da componente PAR em função da irradiação solar global (Frisina et al 2000; Quallio, 2005), e obter estimativas confiáveis a fim de se reduzir o número de equipamentos necessários. O objetivo deste trabalho é relacionar as componentes da irradiação PAR em função da irradiação global com partição Sazonal.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** A base de dados diárias utilizada neste trabalho é composta por medidas monitoradas de agosto de 2003 março 2005 na estação experimental de agrometeorologia Cascavel/UNIOESTE/Pr, montada na cidade de Santa Helena (Latitude 24,07°S, Longitude 54,35°W e altitude de 248m). As irradiâncias (W/m<sup>2</sup>) solar global e a componente PAR foram monitoradas por um piranômetro da Kipp& Zonen (modelo CM3) e por um sensor quântico da marca LI-COR, acoplados a uma aquisição de dados CAMPPELL SCIENTIFIC, modelo CR10X programado na frequência 1Hz e obtendo média no período de 5 minutos do nascer ao por do sol. Os dados foram separados em partição sazonal, sendo utilizados para a estimativa do modelo dados referente ao período de 23/09/03 a 22/09/04 divididos da seguinte forma: equinócio de primavera(23 de setembro a 20 de dezembro); solstício de verão (21 de dezembro a 20 de março); equinócio de outono(21 de março a 21 de junho); solstício de inverno(22 de junho a 22 de setembro). Nas figuras os dados serão representados pelo calendário Juliano. Para a validação do modelo, foram utilizados os dados restantes sendo apresentado a média sazonal da componente par medida (PAR<sub>med</sub>), média da componente PAR estimada (PAR<sub>est</sub>), cálculo das médias dos erros médios diários em módulo ( $|\Delta\%|$ ), dada pela equação:

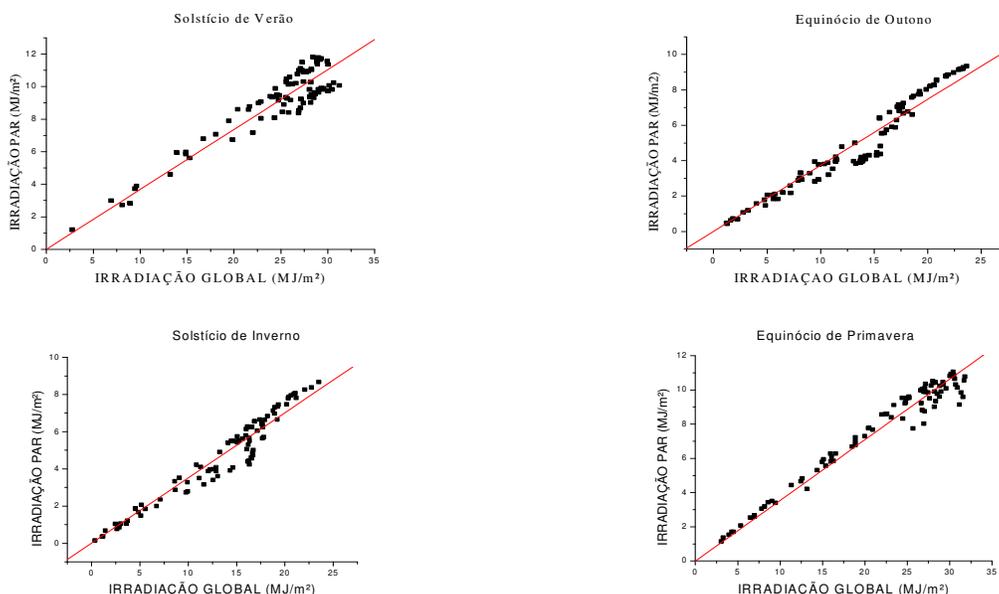
$$\Delta(\%) = 100 * [(PAR_{med} - PAR_{est}) / PAR_{real}]$$

onde: PAR<sub>med</sub> = irradiação fotossinteticamente ativa medida;

PAR<sub>est</sub> = irradiação fotossinteticamente ativa estimada.

e o desvio padrão médio residual (St), da pela raiz quadrada da variância residual.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Os gráficos da Figura 1 mostram, geometricamente, a relação entre as componentes PAR e a Glo (MJ/m<sup>2</sup>) através da regressão linear simples com o eixo das ordenadas representando a componente PAR e o da abscissa a irradiação global, na partição sazonal. Verifica-se um comportamento muito próximo da reta ajustada, indicando uma boa correlação entre os dados medidos e a equação ajustada.



**Figura 1** - Curvas de regressão linear simples para estimativa da irradiação solar PAR em função irradiação solar global, com partição sazonal (MJ/m<sup>2</sup>)

A Tabela 1 apresenta as equações obtidas com a regressão linear, os seus respectivos coeficiente angular “a” e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), apresentando uma variação de 86,00% a 97,12% para as quatro estações, indicando que a componente PAR da irradiação solar podem ser estimadas a partir da irradiação global com ótima precisão. Houve maior aumento da porcentagem da irradiação par em função da global para equinócio de outono chegando a representar 37,3% da irradiação global incidente. Já a menor porcentagem foi encontrada para solstício de verão representando 34,4% da global, apesar de ser muito próximo do equinócio de primavera que foi de 34,9% da global.

**Tabela 1:** Equações de estimativa da irradiação PAR, coeficientes de determinação(R<sup>2</sup>)

Nº de dias observados	Estações	Equações	R <sup>2</sup> (%)
89	Primavera	$PAR_{pri} = 0,349 * R_{glo}$	93,50
91	Verão	$PAR_{ver} = 0,344 * R_{glo}$	86,00
93	Outono	$PAR_{out} = 0,373 * R_{glo}$	97,12
93	Inverno	$PAR_{inv} = 0,368 * R_{glo}$	94,10

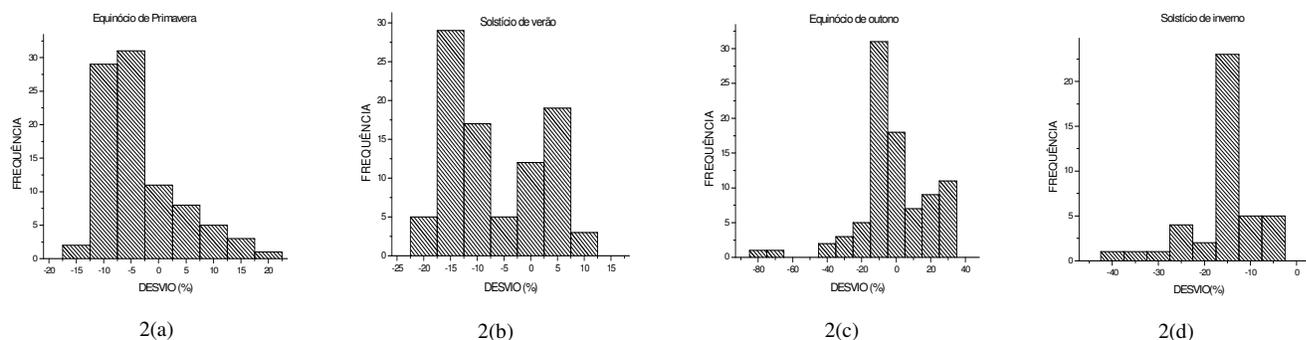
Na Tabela 2 verifica-se que a menor incidência da irradiação solar PAR estimada e medida ocorreu no equinócio de outono, a maior no solstício de verão e a intermediária no equinócio de primavera e solstício de inverno. O ajuste menos eficaz para o modelo foi encontrado para o equinócio de outono e solstício de inverno, onde são observados a maiores médias de erros e desvio padrão alto. Já para o equinócio de primavera a média de erro foi menor do que do solstício de verão, apresentando o menor desvio padrão médio entre as equações do modelo.

**Tabela 2:** Médias dos valores medidos (PAR<sub>méd</sub>), estimados (PAR<sub>est</sub>) da irradiação solar PAR, médias dos erros (|Δ(%)|) e desvios padrões médios residuais (St)

Dias observados	Estações	PAR <sub>real</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	PAR <sub>est</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	Δ(%)	St (MJ/m <sup>2</sup> )
89	Primavera	7,766	7,589	6,86	0,584
91	Verão	9,147	8,505	9,72	1,0536
93	Outono	4,828	4,832	14,38	0,6134
93	Inverno	7,585	6,474	15,95	1,3613

A Figura 2 mostra a distribuição da frequência dos erros médios diários para o período de validação do modelo. As maiores variações dos erros ocorreram no equinócio de outono (fig. 2c) onde é observada uma amplitude de -80% a 30%, havendo uma maior concentração no intervalo de -10% a 10% e solstício de

inverno (fig 2d) onde é observada uma amplitude de  $-42,5\%$  a  $-2,5\%$ , havendo uma maior concentração no intervalo de  $-12,5\%$  a  $17,5\%$ . Já as menores variações dos erros ocorreram no solstício de verão (fig. 2b) onde é observada uma amplitude de  $-22,5\%$  a  $12,5\%$ , havendo uma maior concentração no intervalo de  $-17,5\%$  a  $12,5\%$  e equinócio de primavera (fig 2a) onde é observada uma amplitude de  $-17,5\%$  a  $22,5\%$ , havendo uma maior concentração no intervalo de  $-12,5\%$  a  $-2,5\%$ , confirmando os dados da Tabela 2.



**Figura 02:** Validação dos Modelos de estimativa da irradiação PAR com partição sazonal e respectivas freqüência de ocorrência de desvios

**CONCLUSÕES:** Observações realizadas no decorrer do experimento, vinculadas com os resultados obtidos, discutidos e interpretados, possibilitaram concluir que: em todas as equações encontradas através da regressão linear simples, obtivemos um alto índice do coeficiente de determinação  $R^2$ . A maior porcentagem da irradiação PAR foi encontrada no equinócio de outono, chegando a representar  $37,3\%$  da irradiação global incidente. As maiores variações dos erros encontradas na validação das equações ocorreram no solstício de inverno e equinócio de outono, sendo de  $14,38\%$  e  $15,95\%$ , respectivamente. A componente PAR, para as quatro estações, pode ser estimadas a partir da irradiação global com ótima precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. **Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions**. Agricultural and Forest Meteorology. New York, 2000. v.101, n.1. p.39-50.
- ALVALA,R.C.S.; SILVA, F.W. **Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância de onda curta em área de policultivo na Amazônia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. 1 CD-ROM.
- FRISINA, V.A.; ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N. **Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em estufa de polietileno**. Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, 2000. [online]2003.
- MCCREE.K.J. **A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation**. Agric. Meteorol. 1966. p:353-366
- QUALLIO, S.; FAGUNDES, R.S.; RICIERI, R.P. **Modelo de estimativa da irradiância solar fotossinteticamente ativa para a região de Santa Helena-PR**. In: XIV EAIC – ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2005, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO - Guarapuava. Anais... Guarapuava: XIV EAIC – Encontro Anual de Iniciação Científica, 2005. 1 CD-ROM.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biology of Plants, sixth edition**. Ed. W. H. Freeman and company, New York, E.U.A. 1999. p. 125-151.
- PAPAIOANNOU,G.; PAPANIKOLAOU, N.; RETALIS, D. **Relations of photosynthetically active radiation shortwave irradiance, Theoretical Applied Climatology**. Vienna, v.48, n.1, p. 23-27, 1993.