

# UM SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

Alex Carneiro Leal<sup>1</sup>, Paulo Henrique Caramori<sup>1</sup>, Ronaldo Viana Soares<sup>2</sup>, Antônio Carlos Batista<sup>2</sup>

**ABSTRACT** - The objective of this study is to share with the scientific community the experience of IAPAR researchers with the assembly and use of a low cost sensor of photosynthetically active radiation (PAR). The procedure for mounting the quantum sensors with commercial photodiodes is described. The photosynthetically active photon flux density (PFD) readings obtained with these low cost sensors was compared with the output of a previously calibrated commercial quantum sensor. The readings from both types of quantum sensors are in agreement, allowing their use in research works, particularly if many sensors are needed for short time measurements.

## INTRODUÇÃO

A radiação solar é um parâmetro meteorológico de extrema importância, pois é responsável, direta ou indiretamente, por todas as variações de tempo e clima, em última análise, pela vida na face terrestre. A energia solar que incide na superfície terrestre, ou espectro solar, é um conjunto de radiações com comprimentos de onda variando aproximadamente de 0,2 a 4,0  $\mu\text{m}$ . A radiação visível, comumente chamada de luz e que vai de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ , é a principal faixa de comprimento de onda envolvida na fotossíntese e a que têm sido mais intensamente estudada (Soares e Batista, 2004). Esta faixa é também conhecida como radiação fotossinteticamente ativa ou RFA (em inglês: photosynthetically active radiation, PAR). Os sensores comumente utilizados para medir a quantidade de radiação nesta faixa são construídos com fotodiodos que geram uma corrente elétrica quando iluminados. Os sensores comerciais típicos consistem de um difusor que determina suas características angulares, um filtro que determina as características espectrais e um fotodiodo acoplado a um resistor (Bos e Hoeksema, 1997). Em radiometria os sensores de RFA ou PAR são denominados quantômetros e suas respostas são tipicamente expressas em unidades de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), tais como:  $\text{fótons}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $\text{micromoles}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  ou  $\text{microeinstein}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , onde:  $1\text{ Einstein} = 6,02 \times 10^{23}\text{ fótons} = 1\text{ mole de fótons} = 6,02 \times 10^{23}\text{ quanta}$  (LI-COR, 1982).

Em estudos sobre arborização de cafezais conduzidos pelo IAPAR a irradiância PAR, ou DFFFA, era uma variável importante a ser monitorada, mas o custo dos quantômetros comerciais era muito alto para o reduzido orçamento do projeto. Uma solução sugerida pela professora Dra. Robin L. Chazdon da Universidade de Connecticut, durante uma visita ao IAPAR, foi a montagem de sensores de baixo custo com fotodiodos disponíveis no mercado. Sensores semelhantes foram utilizados por Gutschik et al. (1985) e por Chazdon et al. (1988). Este trabalho tem o objetivo de divulgar a experiência de pesquisadores do IAPAR na montagem e calibração de sensores de RFA de baixo custo para a comunidade científica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os fotodiodos utilizados para montar os sensores foram do modelo G1118, tipo GaAsP, fabricados pela Hamamatsu Corporation. Estes sensores apresentam resposta espectral na faixa de 300 a 680 nm, com pico a 640 nm. Para armazenar os dados de saída foram utilizados coletores automáticos de dados (dataloggers ou microloggers) modelo CR10X, fabricados pela Campbell Scientific, Inc. Os fotodiodos, de dois pinos, foram encaixados a conectores plásticos para diodos (fig. 1) e ligados a fios isolados 2 x 26 AWG. Um multiplexador de sinais modelo AM416, fabricado pela Campbell Scientific, foi utilizado para conectar 24 fotodiodos a apenas um coletor de dados (datalogger CR10X).

Resistores de precisão (1%) de 56 ohms foram utilizados nas conexões do AM416 com o coletor automático (datalogger CR10X), de maneira a trazer o sinal elétrico dos fotodiodos para a faixa de voltagem adequada, cerca de 10 mV a pleno sol, valor semelhante ao do quantômetro comercial utilizado para calibração.

Estes quantômetros foram fixados com fita adesiva em barras de ferro (diâmetro 3/8" CA50 com 2,35 m de comprimento), enterradas até ficarem a 1,70 m de altura do solo e nivelados visualmente com auxílio de um nível de bolha (fig.2).

Os coletores automáticos (CR10X) foram programados para fazer uma leitura dos quantômetros a cada 30 s e armazenar as médias das leituras a cada 15 min.

A calibração dos sensores construídos com os fotodiodos modelo G1118 foi feita por meio de regressão linear entre os valores medidos nestes e os obtidos com um quantômetro comercial com detector fotovoltaico de silício de alta estabilidade modelo LI190SB produzido pela LI-COR, com sensibilidade a comprimentos de onda na faixa de 400 a 700 nm, colocado em base nivelada a 2,50 m de altura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com os diversos quantômetros foram analisados quanto à sua consistência. Selecionou-se um dia com céu claro, sem nuvens, para comparar as leituras dos quantômetros manufaturados com os fotodiodos G1118 (QG) com as do quantômetro comercial LI-COR (LI).

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear usando o modelo matemático  $y = bx$  e considerando os dados dos quantômetros QG como variável dependente ( $x$ ) e os valores do quantômetro LI como variável independente ( $y$ ). Os valores dos coeficientes angulares foram usados para calibrar cada sensor QG.

Os resultados encontrados mostraram estreita correspondência entre os valores medidos com os QG e os obtidos com o LI, tendo as análises de regressão apresentado coeficientes de determinação ( $R^2$ ) na faixa de 0,98 a 0,99.

<sup>1</sup> Pesquisador científico do IAPAR, CP 481, 62001-970, Londrina, PR, Brasil. (alex@iapar.br)

<sup>2</sup> Professor, PGEF, UFPR, Curitiba.

Na figura 3 são apresentados os resultados da análise de regressão entre um dos quantômetros QG e o LI.

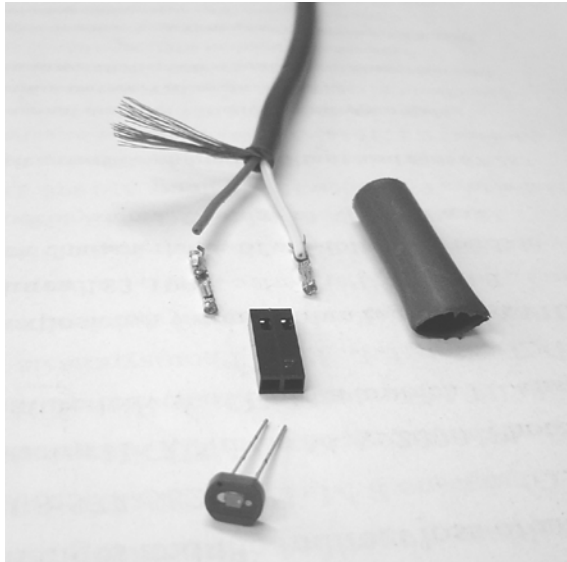


Figura 1. Material utilizado para montagem dos quantômetros, mostrando o fotodiodo, os conectores plásticos, os fios com isolamento e o espagete termo-retrátil usado para acabamento.



Figura 2. Quantômetro instalado no campo, fixado a uma barra de ferro com fita adesiva.

A resposta do fotodiodo G1118, como pode ser observado na figura 3, ficou muito próxima da obtida com o sensor comercial e permitiu uma excelente estimativa da irradiância PAR incidente. O

custo total de um quantômetro montado com o fotodiodo G1118 não foi calculado exatamente, mas não deve ultrapassar US\$10,00, o que significa uma diferença expressiva em relação ao preço de um quantômetro comercial. Entretanto, deve-se salientar que o modelo comercial é mais preciso, vem com calibração de acordo com normas rígidas e pode ser nivelado com exatidão, além de ter uma durabilidade provavelmente muito superior ao manufaturado. Sugere-se que o uso dos sensores descrito neste trabalho fique restrito a trabalhos de pesquisa de curta duração e que sejam calibrados em intervalos de tempo não muito longos.

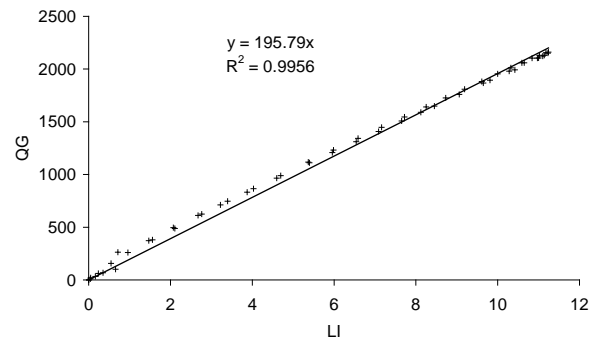


Figura 3. Curva de regressão linear entre os valores lidos no quantômetro comercial (LI) e os obtidos no quantômetro manufaturado (QG), mostrando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a equação ajustada.

## REFERÊNCIAS

- Bos, K. van den.; Hoeksema, E. **An introduction to atmospheric radiation measurement in meteorology, climatology and industry**. SCI-TEC Instruments. Kipp & Zonen. 17 p. 1997.
- Chazdon, R.L.; Williams, K.; Field, C.B. Interactions between crown structure and light environment in five rain forest piper species. **American Journal of Botany**, v. 75, n. 10, p. 1459-1471, 1988.
- Gutschick, P.V.; Barron, H.M.; Waechter, D.A.; Wolf, M.A. Portable monitor for solar radiation that accumulates irradiance histograms for 32 leaf-mounted sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, 33, p. 281-290, 1985.
- LI-COR. **Radiation measurements and instrumentation**. Publication No. 8208-LM. Nebraska: LI-COR, 1982.
- Soares, R.V.; Batista, A.C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: Editor, 2004.