

# INFLUÊNCIA DO ARRANJO ESPACIAL DE TUBOS SOLARÍMETROS NA RESPOSTA À RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL INCIDENTE

Gustavo SCHIEDECK<sup>1</sup>, Sérgio Roberto MARTINS<sup>2</sup>,  
Silvio STEINMETZ<sup>3</sup>, Paulo Roberto Duarte MARTINS<sup>4</sup>

## RESUMO

Entre dezembro de 1997 e janeiro de 1998, no Campus da UFPel, em Pelotas-RS, foi estudada a influência do arranjo espacial de tubos solarímetros sobre os valores da radiação solar global incidente em canteiros vegetados no interior de estufa plástica. Em um canteiro de feijão-vagem com desenvolvimento pleno, foram instalados 4 conjuntos independentes de tubos solarímetros, sendo cada conjunto formado por 2 tubos ligados em paralelo a um datalogger registrando o valor médio de cada par. Os arranjos constaram de combinações entre alinhamentos perpendiculares e paralelos ao canteiro e disposições sob o dossel e entre canteiros. Os conjuntos arranjados com partes expostas entre os canteiros obtiveram valores médios totais muito superiores àqueles localizados completamente sob o dossel vegetativo. Entre os conjuntos dispostos completamente no interior do dossel vegetativo não foram percebidas diferenças marcantes quanto à disposição dos tubos solarímetros em relação ao comprimento do canteiro.

**Palavras-chave:** tubos solarímetros; fluxo de radiação; micrometeorologia.

## INTRODUÇÃO

Nos estudos de modelos que relacionam a produção de matéria seca de uma cultura com a radiação solar acumulada durante seu desenvolvimento, a radiação global incidente e os fatores de eficiência da interceptação e aproveitamento dessa radiação são os elementos fundamentais (Steinmetz & Siqueira, 1995; Gary, 1998).

Dentre os equipamentos utilizados para a caracterização da radiação solar, os tubos solarímetros têm sido amplamente empregados para a mensuração da luz interceptada pelo dossel

---

<sup>1</sup> Eng. Agr. M.Sc., Doutorando do Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPel. Pelotas, RS. E-mail: [schiedek@zaz.com.br](mailto:schiedek@zaz.com.br). Bolsista do CNPq.

<sup>2</sup> Eng. Agr. Dr., Prof. Adjunto. FAEM/UFPel. Pelotas, RS. Caixa Postal, 354 – 96001-970. E-mail: [martinss@ufpel.tche.br](mailto:martinss@ufpel.tche.br). Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. Agr. Dr., Pesquisador da EMBRAPA-CPACT. Pelotas, RS. Caixa Postal, 403 – 96001-970. E-mail: [silvio@cpact.embrapa.br](mailto:silvio@cpact.embrapa.br)

<sup>4</sup> Eng. Agr. Mestrando do Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPel. Pelotas, RS

vegetativo de uma cultura (Webb & Nicholl, 1988), tanto pelo seu menor custo, decorrente da facilidade de sua construção artesanal, quanto pela sua eficiência e praticidade de uso (Steinmetz & Miori, 1997).

Conforme Monteith & Unsworth (1990), a radiação interceptada a campo por uma cultura padrão é convenientemente determinada pela colocação de tubos solarímetros acima e abaixo do dossel. Não obstante, em situações onde o desenvolvimento do cultivo no solo não é contínuo, como por exemplo em canteiros de olerícolas, é importante a determinação da energia solar total interceptada por essas plantas considerando também os fluxos de energia radiante provenientes dos espaços entre os canteiros para o interior do dossel. Assim sendo a disposição de instalação dos tubos solarímetros nos canteiros assume especial significado para os estudos de produção de biomassa em função do fluxo de radiação.

Dessa forma o presente trabalho teve como objetivo verificar a influência do arranjo espacial de tubos solarímetros em canteiros vegetados na resposta à radiação solar global incidente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no período de 25 de dezembro de 1997 à 21 de janeiro de 1998 no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), situada à 31°52'32'' de latitude Sul e 52°21'24'' de longitude Oeste, com altitude média de 13 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köepen, o clima da região é definido como Cfa, ou seja, clima temperado, de chuvas bem distribuídas e verão quente.

O trabalho foi realizado no interior de uma estufa plástica tipo túnel alto, disposta no sentido norte-sul e construída em tubos de ferro galvanizado, com 40 m de comprimento, 8 m de largura e pé-direito de 3,5 m, totalizando 320 m<sup>2</sup> de área e volume de 880 m<sup>3</sup>. Como material de cobertura foi utilizado polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 0,15 mm (150 µ) e aditivado contra raios ultravioletas.

Os tubos solarímetros, construídos artesanalmente, com 108 cm de comprimento, foram instalados à 5 cm do solo, em um canteiro de 1 m de largura no centro do túnel plástico, ocupado por feijão-vagem cv. Macarrão Favorito num espaçamento de 0,30 m entre plantas e 0,7 m entre linhas. As plantas do canteiro representaram o padrão médio da cultura no ambiente, com aproximadamente 2 m de altura e dossel amplamente desenvolvido. Foram definidos 4 arranjos espaciais, cada um deles composto por 2 tubos solarímetros. O primeiro par de tubos solarímetros foi colocado no sentido perpendicular ao canteiro, com os dois tubos lado a lado cobrindo toda a sua largura. O segundo conjunto foi disposto paralelamente ao canteiro, sob as linhas de cultivo e pelo lado interno destas. O terceiro conjunto, intercalado com o segundo e também paralelo ao canteiro,



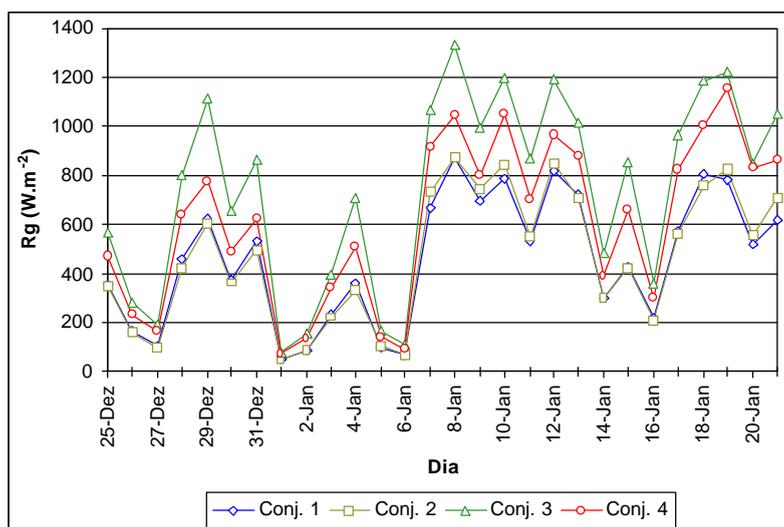


FIGURA 2 - Valores diários da radiação solar global incidente ( $R_g$ ) em conjuntos (Conj.) de tubos solarímetros sob diferentes arranjos espaciais em canteiros vegetados. 25 de dezembro de 1997 a 21 de janeiro de 1998. UFPel, Pelotas, RS.

Entre os conjuntos 1 e 2, dispostos completamente no interior do dossel, praticamente não ocorreram diferenças, mesmo o primeiro estando perpendicular e o segundo paralelo ao canteiro. Ao final do período, os valores médios diários foram 458,8, 464,2, 740,5 e 610,0  $W.m^{-2}$  para os conjuntos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Através de dados obtidos na Estação Agroclimatológica da EMBRAPA/UFPEL, localizada no Campus da UFPel, também foi verificado o comportamento dos diferentes arranjos em dias característicos. A figura 3 mostra os níveis de radiação solar global incidente nos conjuntos de tubos solarímetros ao longo do dia 1º de janeiro de 1998, com nebulosidade máxima e zero hora de insolação.

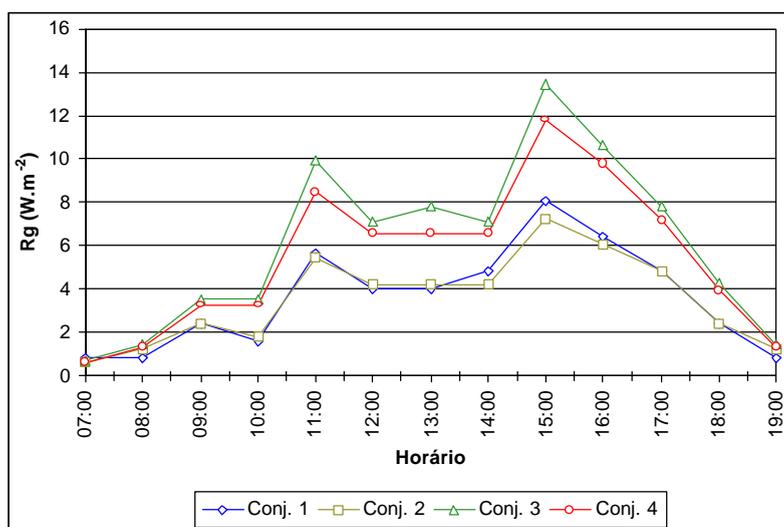


FIGURA 3 - Valores médios horários da radiação solar global incidente ( $R_g$ ) em conjuntos (Conj.) de tubos solarímetros sob diferentes arranjos espaciais em canteiros vegetados, ao longo de um dia nublado (1º de janeiro de 1998). UFPel, Pelotas, RS.

Na situação de dia nublado todos os conjuntos mostraram uma resposta muito semelhante. Contudo, apesar dos valores horários dos conjuntos 3 e 4 terem sido muito próximos aos dos conjuntos 1 e 2, no final do período houve uma clara vantagem na radiação acumulada dos arranjos com partes expostas entre os canteiros sobre os completamente dispostos sob o dossel vegetativo, sendo 46,7, 46,0, 78,6 e 70,6  $\text{W.m}^{-2}$  para os conjuntos 1,2,3 e 4 respectivamente. A tendência de queda de recebimento de radiação pelos conjuntos nos horários centrais do dia, pode ser atribuída em parte ao alto índice de luz difusa no interior da estufa e elevada absorção pelas plantas.

Por outro lado, no dia 8 de janeiro (figura 4), ensolarado, com índice zero de nebulosidade e 12,2 horas de insolação total, nota-se uma grande diferença no comportamento dos arranjos de tubos solarímetros ao longo do período.

Das primeiras horas da manhã até aproximadamente às 10:00 horas, há uma resposta muito semelhante entre os arranjos, assim como nos momentos finais do dia, a partir das 16:00 horas. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que nessas horas do dia os raios solares atingem a cobertura plástica da estufa com menor ângulo de inclinação, resultando numa menor transmitância e proporcionando no seu interior elevados percentuais de radiação difusa. Esta por sua vez, por ser multidirecional, penetra entre as camadas do dossel vegetativo, tornando mais uniforme o recebimento de luz nos diferentes arranjos de tubos solarímetros.

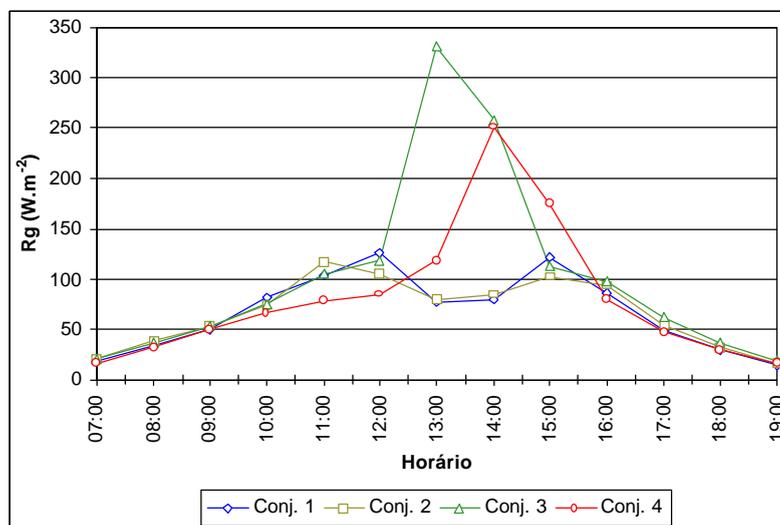


FIGURA 4 - Valores médios horários da radiação solar global incidente ( $R_g$ ) em conjuntos (Conj.) de tubos solarímetros sob diferentes arranjos espaciais em canteiros vegetados, ao longo de um dia ensolarado (8 de janeiro de 1998). UFPel, Pelotas, RS.

Entre às 12:00 e às 14:00 horas, os conjuntos 3 e 4 apresentaram um acréscimo substancial dos seus valores, em virtude da maior transmissividade da cobertura plástica à maior elevação solar e por estarem mais expostos à radiação direta. O retardo do pico máximo de radiação observado entre os conjuntos 3 (às 13:00 horas) e 4 (às 14:00 horas), pode estar relacionado com a posição

deste último, mais próximo à borda do canteiro, com conseqüente maior exposição à sombra. Por outro lado, nesse mesmo intervalo, os conjuntos 1 e 2 apresentaram uma pequena queda nos seus valores, reafirmando a forte relação existente entre o ângulo de incidência da radiação solar e a absorção dessa radiação pelo dossel vegetativo.

Os valores acumulados da radiação solar global incidente no dia 8 de janeiro foram de 875,0, 872,6, 1330,0 e 1048,2  $W.m^{-2}$ , respectivamente para os conjuntos 1, 2, 3 e 4. Porém, tão importante quanto a diferença final verificada entre os arranjos de tubos solarímetros é o momento do dia em que essa diferença se processa com maior intensidade. Conforme trabalho de Schiedeck & Martins (1999), cerca de 81% da radiação global diária incidente no interior de uma estufa plástica ocorre até às 14:00 horas, sendo pouco significativo o ganho energético após esse período. Assim, pela análise da integração dos valores horários mostrada na figura 5, o arranjo espacial dos tubos solarímetros no conjunto 3 proporciona uma resposta à radiação global incidente muito mais incisiva a partir das 12:00 horas do que nos demais conjuntos. A partir das 13:00 horas, tal fenômeno também ocorre para o conjunto 4, em menor intensidade do que no conjunto 3, mas distanciando sobremaneira da resposta obtida nos conjuntos 1 e 2, que mostraram comportamento idêntico ao longo de todo o período.

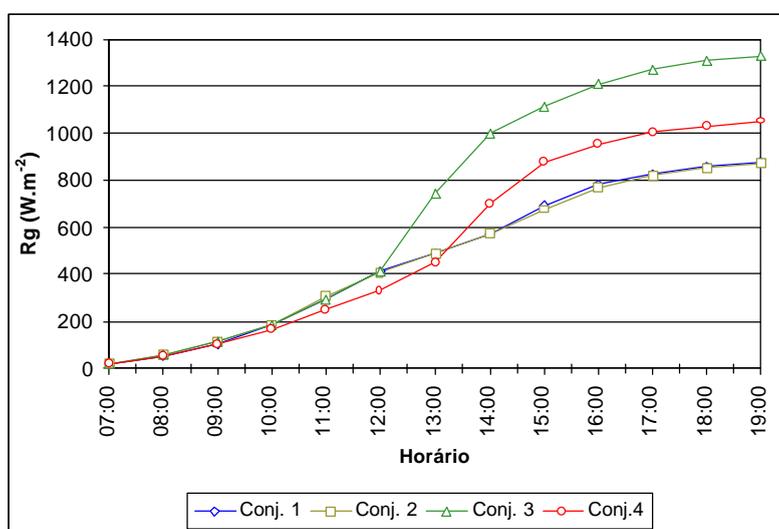


FIGURA 5 - Valores médios horários integrados da radiação solar global incidente ( $R_g$ ) em conjuntos (Conj.) de tubos solarímetros sob diferentes arranjos espaciais em canteiros vegetados, ao longo de um dia ensolarado (8 de janeiro de 1998). UFPel, Pelotas, RS.

Levando em conta que os maiores valores de energia radiante verificam-se nas horas centrais do dia pode-se inferir que as diferenças observadas entre às 12:00 e às 15:00 horas em favor dos conjuntos 3 e 4 são relevantes, devendo ser consideradas para o estabelecimento de modelos de crescimento no qual as plantas são conduzidas em canteiros individuais, com espaçamentos não coincidentes entre os canteiros e as linhas de cultivo.

## CONCLUSÃO

O arranjo espacial de tubos solarímetros em canteiros vegetados interferiu diretamente nos valores finais obtidos para a radiação solar global incidente. Os conjuntos 3 e 4, que apresentavam partes expostas entre os canteiros, tiveram valores médios totais superiores aos verificados nos conjuntos 1 e 2, dispostos completamente sob o dossel vegetativo. As maiores diferenças entre os conjuntos ocorreram em dias de elevada insolação e baixa nebulosidade e nos horários centrais do dia, em sintonia com a maior elevação solar. Entre os conjuntos 1 e 2 não foram percebidas diferenças marcantes quanto à disposição perpendicular ou paralela dos tubos solarímetros, tanto ao longo do período de estudos quanto em dias característicos.

## BIBLIOGRAFIA

- GARY, C. *Treinamento em desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento, desenvolvimento e manejo das culturas de hortaliças*. Santa Maria: UFSM. 18 à 20 de maio de 1998. (palestra)
- MONTEITH, J.L., UNSWORTH, M. *Principles of environmental physics*. 2 ed. London: Arnold. 291 p., 1990.
- SCHIEDECK, G., MARTINS, S.R. Fluxo de radiação em estufa plástica tipo capela em Pelotas, RS. (Trabalho encaminhado para apresentação no XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, em Florianópolis. 1999)
- STEINMETZ, S., SIQUEIRA, O.J.W. de. Eficiência de conversão em biomassa da radiação solar interceptada pela cultura do arroz irrigado submetida a níveis diferenciados da adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995. Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.96-98, 1995.
- STEINMETZ, S., MIORI, P.R.B. Melhoria no sistema de vedação de tubos solarímetros construídos com placas de circuito impresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997. Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ESALQ-USP, p.207-209, 1997.
- WEBB, N., NICHOLL, C. (ed.). *Tube solarimeter: user manual*. Cammbridge: Delta-T Devices Ltd. 24 p., 1988.