



- DAVARCI, F. et al. The influence of solution viscosities and surface tension on calcium- alginate microbead formation using dripping technique. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 119–127, 2017.
- DOHNAL, J.; ŠTĚPÁNEK, F. Inkjet fabrication and characterization of calcium alginate microcapsules. **Powder Technology**, v. 200, n. 3, p. 254–259, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures is in multiple comparisons. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.
- MURASNIGE, T.; SKOOG, F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tohaoco Tissue Cultures. **Physiol. Plant**, v. 15, n. Copenhagen, p. 473–479, 1962.
- RAY, A.; BHATTACHARYA, S. Storage and conversion of Eclipta alba synseeds and RAPD analysis of the converted plantlets. **Biologia Plantarum**, v. 54, n. 3, p. 547–550, 2010.
- SARAVANAN, M.; RAO, K. P. Pectin-gelatin and alginate-gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, v. 80, n. 3, p. 808–816, 2010.
- TURBIANI; KIECKBUSCH. Propriedades mecânicas e de barreira de filmes de alginato de sódio reticulados com benzoato de cálcio e/ou cloreto de cálcio. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 02, p. 82–90, 2011.

AVALIAÇÃO DE UM PIRANÔMETRO DE BAIXO CUSTO EM CONDIÇÕES DE CAMPO

J. Sánchez-Benítez^{1,*}, A. M. Amaral¹, T. S. S. Vale¹, M. A. C. M. dos Santos¹, L.M. Vellame¹, I. L. N. Santos¹

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, 44380-000, Cruz das Almas, Bahia

* Autor correspondente, e-mail: jsanchezb2@gmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados da avaliação de um sensor piranômetro de baixo custo, o qual usa o fotodiodo BPV10NF. Durante a coleta de dados foram utilizados 14 sensores de baixo custo e um sensor de referência, CS300 da Campbell Scientific®. Os dados foram coletados durante um período de 414 dias, e foram utilizados para criar um modelo de calibração, que posteriormente foi validado. Os modelos obtidos se ajustaram bem com relação aos dados do sensor padrão, o desvio médio dos dados foi inferior a $0,1575 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no 95,5% das medições.

Palavras-chave: validação, calibração, sensor de radiação solar

EVALUATION OF A LOW COST PYRAMETER IN FIELD CONDITIONS

Abstract: This paper presents the results of the evaluation of a low cost pyranometer sensor, which uses the BPV10NF photodiode. During data collection, 14 low-cost sensors were used, besides a reference sensor, Campbell Scientific® CS300. Data were collected over a period of 414 days, and were used to create a calibration model, which was later validated. The obtained models presented a good fit with the standard sensor data; the average deviation of the data was less than $0.1575 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ in 95.5% of the measurements.

Keywords: validation, calibration, solar radiation sensor

1. Introdução

A radiação solar está diretamente relacionada aos fenômenos meteorológicos e pode ser atenuada pelos componentes da atmosfera. Como variável agrometeorológica, tem papel fundamental nos processos biológicos e fisiológicos na terra, o que a torna essencial para estudos que envolvem modelagem do crescimento das plantas e mudanças climáticas. No campo da engenharia agrícola, a radiação solar tem grande influência nos processos de evapotranspiração, que culmina diretamente em estudos de demanda hídrica de culturas agrícolas (SANTOS, 2015).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é responsável pela manutenção e disponibilização de dados meteorológicos, dentre eles a radiação solar. A disponibilidade de dados de radiação solar, seja em período horário ou diário, geralmente é escassa tanto do ponto de vista espacial (distribuição das estações meteorológicas) e ainda devido principalmente ao preço desses sensores, haja vista que muitos deles são importados e estão associados às unidades armazenadoras de dados dos fabricantes, o que dificulta e encarece ainda mais o produto final.

As dificuldades de aquisição e o preço são fatores que motivam desenvolvimento de dispositivos de baixo custo, quer sejam sensores ou unidades armazenadoras de dados. Tal fator tem evoluído e principalmente no campo da engenharia agrícola. O desenvolvimento de sensores requer uma rotina metodológica consistente que vai desde a construção (escolha dos componentes e padronização do sensor) até aos testes e calibração.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar um conjunto de piranômetros de baixo custo construídos no Laboratório de Instrumentação Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) em Cruz das Almas-Ba, localizada nas coordenadas geográficas (Latitude: 12° 39' 11" Sul, Longitude: 39° 7' 19" Oeste).

O modelo de piranômetro aqui proposto, dispõe como componente principal um fotodiodo modelo BPV10NF da fabricante Vishay Semiconductors®. Ao todo foram construídos 14 piranômetros.

Os testes realizados entre os dias 13/04/2018 e 01/06/2019, foram feitos em campo aberto e os piranômetros foram instalados e posicionados em direção ao norte, de forma a evitar sombreamento. Os sensores foram conectados a uma unidade armazenadora de dados CR1000 Campbell Scientific®. Dois sensores foram usados como referência, CS300 da Campbell Scientific® e o LP02 da Apogee.



Figura 1. Piranômetros instalados em campo durante o período de calibração

O processamento dos dados, foi realizado em intervalo horário. Dessa forma o sinal em mV do modelo piranômetro aqui proposto foi associado aos valores de radiação solar global obtidas com os sensores usados como referência, de forma a obter a curva de calibração.

Para a análise dos resíduos fez-se o uso do indicador estatístico *RSME* (raiz quadrado do erro médio) Equação 1, conforme sugerida por (AZOUZOUTE et al., 2019) como sendo uma ferramenta de análise de erros em medições.

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y_{pred} - y_{ref})^2}{N}} \quad (1)$$

Em que, y_{pred} é o valor de radiação calculado a partir dos valores de milivolts obtidos por cada sensor, y_{ref} é o valor de radiação obtido do sensor de referência, e N é o tamanho da mostra.

3. Resultados e Discussão

Um total de 39.350 dados por sensor foram usados para obtenção da curva de calibração. A Figura 2 apresenta as curvas de calibração individuais para cada sensor. Observa-se que existe um ligeiro offset entre sinal em mV do conjunto de sensores e a radiação solar global medida por um dos sensores de referência aqui utilizados (CS300). Esse offset denota que cada sensor possui sua curva de calibração específica. Acima de 200 $W m^{-2}$ esse offset tende a aumentar por exemplo entre os piranômetros P4 e P9. Para uma mesma quantidade de radiação (1000 $W m^{-2}$) a diferença no sinal em mV entre esses dois sensores foi de aproximadamente 0,34. Alguns dos sensores desenvolvidos apresentaram resposta semelhante, tal como P14, P10, P11, P13 e P2.

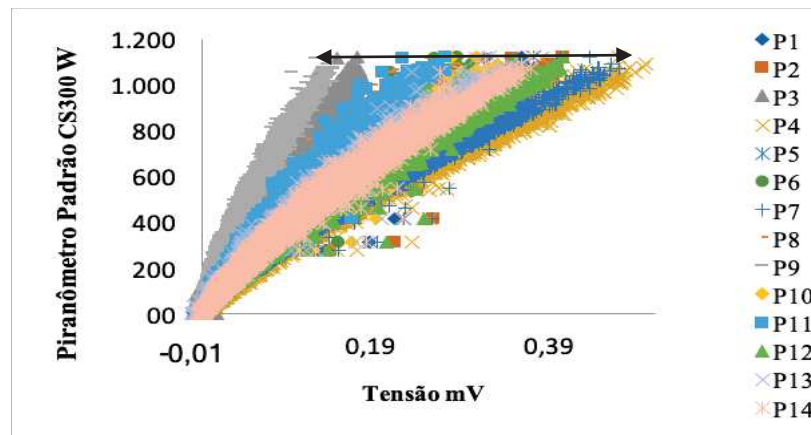


Figura 2. Gráfico da correlação dos dados dos piranômetros de baixo custo com o piranômetro padrão.

A Tabela 1 contém os coeficientes de calibração do conjunto de sensores aqui testados. O modelo polinomial de ordem 2 foi o que melhor se ajustou aos dados. A Equação 2 apresenta o modelo de calibração dos sensores.

$$Rd = A(vm)^2 + B(vm) + C \quad (2)$$

Em que,

Rd é o valor da radiação medida em watts por metro quadrado (W/m^2)

vm é o valor medido no sensor em milivolts (mV),

A, B e C são as constantes do modelo

Tabela 1. Valores dos coeficientes do modelo calculados para cada sensor

Piranômetro	A	B	C	R ²
P1	-3784	4220,8	3,8458	0,99565
P2	-3142,6	3806,2	1,3113	0,99345
P3	-15686	8533,3	2,9926	0,9877
P4	-2745	3362,2	4,3481	0,98883
P5	-3713,7	4154,7	3,8695	0,99347
P6	-5952,4	5189,7	1,5348	0,99442
P7	-3335,4	3684,3	2,537	0,9864
P8	-7160,4	5622,4	2,2246	0,98694
P9	-26658	10796	1,6243	0,9883
P10	-3358,7	4224,7	1,3984	0,99432
P11	-6151,1	5529	1,5465	0,99235
P12	-3089,3	3781,6	3,6795	0,99438
P13	-4654	4541,8	6,6813	0,99314
P14	-4097,8	4292,4	1,9087	0,99406
P15	-5768,8	5070,6	0,2099	0,9848
P16	-3590,3	3946,3	2,4701	0,99368

A Figura 3 contém uma amostra dos dados coletados no período de teste e mostra que existem uma boa correlação entre a média dos 14 sensores desenvolvidos e os dois piranômetros usados como referência. Isso de certa forma reflete os altos coeficientes de correlação observados na Tabela 1. Para tanto, o modelo de piranômetro aqui proposto se aproxima mais do piranômetro de referência CS300. Houve pequenas variações entre o conjunto dos 14 piranômetros e o LP02 da Apogee, subestimado levemente o ponto máximo da medição.

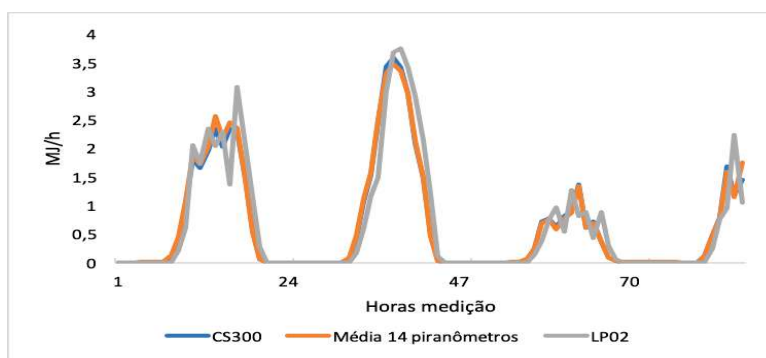


Figura 3. Exemplo de ajuste dos dados entre os piranômetros de baixo custo e dos piranômetro comerciais na escala de $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, após aplicada a calibração.

Espera-se um menor erro na ordem de $0,1575 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em 95,5% das estimativas (Figura 4). Os 14 sensores têm um *RMSE* médio de $0,88 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e um *RMSE* máximo de $1,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ o que representa 7,1% do valor médio (Tabela 2).

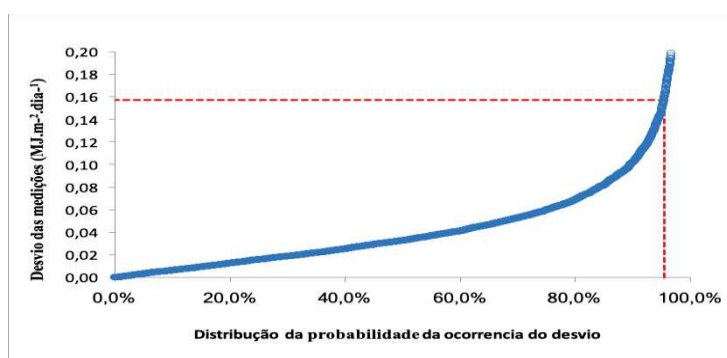


Figura 4. Curvas da probabilidade da ocorrência do desvio das medições do sensor $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$

Tabela 2. Valores dos coeficientes do *RMSE* e o R^2 obtidos.

Sensor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
RMSE	0,53	0,62	0,94	1,17	0,81	0,71	1,33	1,12	0,82	0,88	0,91	0,76	0,95	0,81
R²	0,99	0,98	0,94	0,95	0,98	0,98	0,94	0,95	0,97	0,99	0,96	0,97	0,97	0,97

4. Conclusões

Todos os piranômetros de baixo custo avaliados, tem uma alta correlação com as medições feitas pelos piranômetros utilizados como referência.

Em relação aos custos de fabricação, o sensor não supera os US\$ 20,0 logo sua boa performance associada ao baixo custo, com o aprimoramento na construção tornar mais fácil e mais barato a aquisição de piranômetros.

Agradecimentos

Os autores apresentam agradecimento à CAPES pelas bolsas de estudo, à Programa de pós-graduação Em Engenharia Agrícola da UFRB pelo apoio e a formação.

Referências

- AZOUZOUTE, A. et al. Accuracy measurement of pyranometer vs reference cell for PV resource assessment. *Energy Procedia*, v. 157, n. 2018, p. 1202–1209, 2019.
- KOURO, S. Sensores De Humedad. Universidad Tecnica Federico Santa Maria, 2001.