

DESEMPENHO DE DIFERENTES BITOLAS DE TERMOPAR EM UM PSICRÔMETRO ASPIRADO DE BAIXO CUSTO¹

CLÁUDIO RICARDO DA SILVA^{2*}, JOABEL RAABE³, NILDO DA SILVA DIAS⁴, TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA⁵, RONALDO ANTÔNIO DOS SANTOS⁶

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi construir e avaliar um psicrômetro aspirado com diferentes bitolas de termopares. Foram utilizadas três bitolas de termopares de cobre-constatan: 24 AWG (0,511 mm de diâmetro), 32 AWG (0,202 mm de diâmetro) e 40 AWG (0,080 mm de diâmetro) que formaram as junções seca e úmida do psicrômetro. Os termopares foram colocados em um único psicrômetro, posicionados a distancia de aproximadamente de 30 mm entre si. Valores horários médios da temperatura e umidade relativa obtidos com cada bitola foram comparados com os valores de temperatura e umidade relativa do ar, registrados por um termistor e higrômetro capacitivo comercial. Os resultados mostraram que as bitolas de termopar estudadas (24, 32 e 40AWG) apresentaram alta correlação e acurácia com os valores de umidade relativa determinados pelo higrômetro ($R^2 > 0,94$, $RMSE \leq 3,91\%$).

Palavras-chave: Higrômetro. Umidade relativa do ar. Vapor de água. Termômetro.

PERFORMANCE OF DIFFERENT THERMOCOUPLE GAUGES ON A LOW COST ASPIRED PSYCHROMETER

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate an aspirated psychrometer constructed under different thermocouple gauges. Were used three thermocouple copper-constantan gauge: 24 AWG (0.511 mm of diameter), 32 AWG (0.202 mm of diameter) and 40 AWG (0.080 mm of diameter). The thermocouples were placed into a single psychrometer and each one positioned side by side at a distance of approximately 30 mm each other. Hourly air temperature and humidity values obtained from each gauge were compared with the values obtained with a thermistor and capacitive hygrometer. The results showed that the thermocouple gauges used (24, 32 and 40 AWG) had high correlation and accuracy with values determined by the hygrometer ($r^2 > 0.97$, $RMSE \leq 3.91\%$).

Keywords: Hygrometer. Air relative humidity. Water vapour. Thermometer.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 13/06/2010; aceito em 21/09/2010.

²CIAG/UFU, av. Amazonas, s/n, Bloco 2E, Campus Umuarama, 38400-902, Uberlândia - MG; claudio@iciag.ufu.br

³UFPI, campus de Bom Jesus, 64900-000, Bom Jesus - PI; joabeljr@hotmail.com

⁴UFERSA, 59600-900, Mossoró - RN; nildo@ufersa.edu.br

⁵UFMG, campus Universitário de Rondonópolis, 78735-901, Rondonópolis - MT; tonny.silva@pq.cnpq.br

⁶DEA/ESALQ, 13418 - 900, Piracicaba - SP; santosra@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

Dentre os principais fatores que influenciam a produção agrícola destacam-se as condições climáticas, que são praticamente incontroláveis (BECKMANN et al., 2006). Vários são os exemplos de quebras de safras no Brasil e no mundo, com enormes prejuízos à agricultura e à sociedade, devido à ocorrência de adversidades climáticas.

Assim, para que qualquer empreendimento agrícola seja revestido de sucesso, as respostas interativas entre clima-planta precisam ser adequadamente quantificadas e monitoradas. Para tanto, é de suma importância conhecer os elementos climáticos, definidos como grandezas que caracterizam o clima, ao longo dos anos, tais como a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa, a precipitação pluviométrica, o foto período, dentre outras (BOUERI; LUNARDI, 2006; PEZZOPANE et al., 2000).

O vapor de água no ar desempenha papel fundamental no clima global atuando como fonte de calor latente da atmosfera, interferindo nos processos de evaporação e evapotranspiração, na absorção de diversos comprimentos de onda da radiação solar e terrestre, na formação das nuvens e precipitação (VIANELLO; ALVES, 1992).

A presença de vapor de água na atmosfera é igualmente importante como condicionante de ocorrência e controle de pragas e doenças vegetais e animais e, também, como determinante da qualidade, do armazenamento, da conservação dos produtos agrícolas, bem como do conforto animal (PEREIRA et al., 2002).

O vapor de água atmosférico pode ser expresso de diferentes formas, sendo que uma das mais usuais é por meio da umidade relativa do ar. Existem diversos instrumentos para medi-la, entretanto, o psicrômetro, que utiliza dados das leituras dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido é um dos mais antigos e ainda muito utilizado, dado a sua simplicidade e precisão.

Estudos recentes têm demonstrado que, os termômetros de mercúrio estão sendo gradativamente substituídos por termopares elétricos, em decorrência da simplicidade de construção destes sensores, a partir de materiais de obtenção relativamente fácil, da boa precisão e, principalmente devido à possibilidade de automatização da coleta de dados por meios de um sistema de aquisição automático. Desde então, diversos modelos de psicrômetros de termopar têm sido propostos (CALDWELL; CALDWELL, 1970; ALLEN et al. 1994; CUNHA et al., 2001; MARIN et al., 2001; TURCO; FERNANDES, 2003; MENEZES et al., 2008) e utilizados para o monitoramento instantâneo da temperatura e umidade do ar, como nos estudos de balanço de energia (TEIXEIRA, 2001; SILVA et al., 2007; PEZZOPANE et al., 2007).

O uso de registro de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação

de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, perda de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos de registros de dados, sendo atualmente o mais recomendado (VILELA et al., 2001; FIGUEREDO JUNIOR et al., 2005).

Porém, há necessidade de mais investigações com relação a eficiências destes sensores com sistema de aquisição automático de dados nos sistemas agrícola. Por exemplo, sabe-se que a acurácia do psicrômetro é fortemente dependente do tipo de termopar utilizado (WIEDERHOLD, 1997). Desta forma, este trabalho teve como objetivo construir um psicrômetro aspirado de baixo custo e avaliar o efeito das diferentes bitolas de termopar na acurácia das medidas, em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

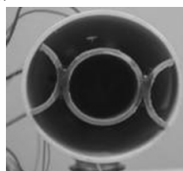
De maneira similar ao modelo construído por Marin et al. (2001), o psicrômetro foi construído por dois tubos de PVC, concêntricos, com 150 e 140 mm de comprimento e diâmetros internos de 50 e 25 mm, respectivamente (Figura 1A). Os tubos foram montados um dentro do outro, permitindo que o tubo externo exerça a função de isolador térmico (Figura 1B). Nas extremidades dos tubos foram fixadas duas ventosas de 50 mm de diâmetro, comumente encontradas no mercado, porém, recobriu-se internamente com tela de aço com malha de 2 mm (Figura 1A) para evitar a entrada de insetos ou partículas que danificam o sistema de ventilação.

O reservatório de água destilada, composto por uma garrafa plástica de 0,2 L, tipo pet, foi acoplado ao psicrômetro com resina epoxi, na parte central inferior, sob um dos termopares, para promover a ascensão capilar da água, em um cordão de algodão, até a junção termoeletrica (junção úmida) (Figura 1C).

A.



B.



C.



D.



Figura 1. Componentes do psicrômetro: tubo externo e ventosas (A), tubo interno (B), reservatório plástico (C) e microventilador (D).

A aspiração do psicrômetro foi feita por um microventilador de 50 mm de diâmetro, 12V, comumente utilizado em computadores, o qual foi fixado com resina epoxi em uma das extremidades do tubo

(Figura 1D), com o objetivo de minimizar efeitos ambientais sobre o coeficiente psicrométrico (BINDON, 1965; WIEDERHOLD, 1997; ALLEN et al., 1994). A escolha do modelo do microventilador foi feita com base no tamanho do tubo externo e no menor consumo de energia.

Os termopares utilizados foram do tipo T, de cobre e constantan, com as seguintes bitolas: 24 AWG (0,511 mm de diâmetro), 32 AWG (0,202 mm de diâmetro) e 40 AWG (0,080 mm de diâmetro). Para cada bitola, os fios de cobre e constantan foram unidos em forma espiral na extensão de 12 mm; formando então, as junções seca e úmida do psicrômetro. As junções secas foram posicionadas anteriormente em relação às úmidas no sentido do fluxo de ar, e distanciadas uma da outra por 50 mm (Figura 2A). No psicrômetro, as junções secas ficaram lado a lado numa distância aproximada de 30 mm, sendo que os termopares 24 e 32 AWG ficaram posicionados na lateral do tubo e o 40 AWG no centro (FIGURA 2B). A mesma distância e posição foram mantidas para as junções úmidas.

O custo unitário de cada bitola de termopar foi de R\$12,50/m para os termopares de 24 e 32 AWG e de R\$ 14,30/m para o termopar 40 AWG. O custo dos materiais para construção do psicrômetro (tubos de PVC, resina, lixa e microventilador) foi de R\$ 28,00.

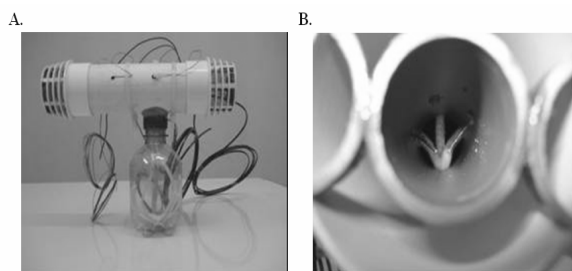


Figura 2. Psicrômetro e posição das junções seca e úmida (envolvida com cadarço de algodão) (A) para as diferentes bitolas de termopares (B).

Os termopares do psicrômetro foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados “datalogger” (modelo CR10, Campbell Scientific), utilizando canais diferenciais e programação para realizar leituras de temperatura a cada segundo e médias a cada hora. Os valores médios de temperatura obtidos por cada bitola de termopar foram convertidos em umidade relativa do ar pela equação psicrométrica, conforme metodologia detalhada por Pereira et al. (2002).

Posteriormente, no período de 4 a 6 de março de 2008, o conjunto (psicrômetro e “datalogger”) foi instalado na estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizada na Universidade Federal do Piauí, Campus de Bom Jesus (9,08°S, 44,3°W e 297 m de altitude).

Para avaliação do desempenho dos sensores,

compararam-se os valores médios de umidade relativa do ar obtida por cada junção (totalizando-se 72 leituras no período) com os valores obtidos por um sensor comercial (modelo HMP45D, Vaisala Inc. Corporation) que incorpora um sensor de temperatura baseado na resistência elétrica de um fio de platina (± 0.4 °C de acurácia a 20 °C) e um higrômetro capacitivo ($\pm 2\%$ de 0 a 90% e $\pm 3\%$ na faixa de 90 a 100% no valor de umidade relativa do ar). Nessa comparação, ambos os sensores, encontravam-se a 2 metros da superfície atendendo o padrão da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). O tamanho reduzido do sensor capacitivo, baixo consumo de energia e a sua resposta rápida as variações de umidade permite sua aplicação em diversos estudos ecofisiológicos (DAY, 1988; CELLIER ; OLIOSSO, 1993). Ainda que o higrômetro capacitivo não seja considerado padrão para a calibração de instrumentos que medem a umidade (ALLEN et al., 1994) este serviu como uma referência, uma vez que este instrumento encontrava-se recém calibrado.

Para testar a acurácia das diferentes bitolas na determinação da umidade relativa do ar, utilizaram-se os seguintes parâmetros estatísticos: o grau de associação entre os valores de umidade relativa estimada e observada, representada pelo coeficiente de determinação (r^2), a raiz quadrada do quadrado médio do erro, RMSE (Eq. 1) e índice de concordância de Wilmott, d_w (Eq. 2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$$

(1)

em que:

E_i – Valor estimado (%);

O_i – Valor observado (%);

n - Número de observações.

$$d_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

(2)

em que:

\bar{O} – média dos valores observados (%).

O coeficiente r^2 e o índice d_w são indicadores de concordância adimensionais entre as estimativas e os valores observados. Valores próximos a 1 para esses índices indicam boa concordância. Quanto menor for a diferença entre o valor estimado com o valor observado, menor será o RMSE e, portanto, melhor a acurácia do psicrômetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a variação média da umidade relativa do ar, determinada a partir de dados coletados pelas bitolas de 24, 32 e 40 AWG (72 médias horárias) e os valores observados pelo higrômetro capacitivo comercial, entre os dias 4 a 6 de março de 2008. Durante o período de avaliação a umidade relativa do ar variou de 50 a 100%. Verifica-se que houve boa concordância entre os valores obtidos da umidade relativa do ar pelas diferentes junções. Tal concordância reflete a alta correlação entre os valores de umidade relativa do ar, obtidos com as diferentes bitolas de termopar e higrômetro capacitivo, ($r^2 > 0,97$ e $d_w > 0,97$), sendo que houve uma tendência de superestimativa nos valores de umidade relativa do ar de 2,7% para as bitolas 24 e 32 AWG e de 0,7% para a bitola 40 AWG (Figura 4). O RMSE observado foi de 3,95% para a bitola 24 AWG; 3,28% para 32 AWG e 3,91% para a bitola 40 AWG. Alguns registros na literatura com testes de psicrômetros com sistemas de aquisição de dados estão disponíveis, porém sem teste de diâmetros de bitola. Marin et al. (2000) compararam as medidas de um psicrômetro ventilado confeccionado com baixo custo de termopares de Cu-Co com um sensor comercial Vaisala, conseguiu boa precisão das medidas, apresentando dados de umidade relativa do ar mais coerentes, principalmente em condições extremas de umidade. Cunha et al. (2001) avaliando a acurácia de um psicrômetro de termopar ao longo do ano, encontram erros de 1,6 a 3,4%.

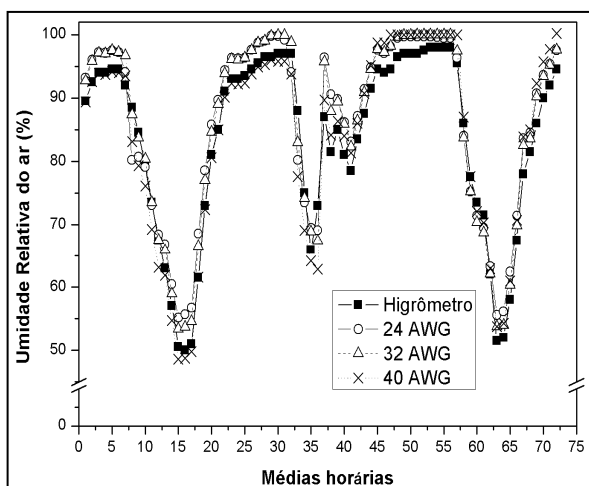


Figura 3. Variação da umidade relativa média do ar obtida pelas junções de termopares (24, 32 e 40 AWG) e pelo higrômetro capacitivo (padrão).

Uma possível vantagem dos sensores com menor diâmetro, como o 40AWG, seria a possibilidade de se obter respostas às variações de temperatura mais rápidas. Neste estudo não foi possível, em função da programação do higrômetro comercial presente na estação do INMET, reduzir o tempo das médias. Ressalta-se, porém, a dificuldade de manuseio de dimensões tão reduzidas. Outra questão seria

quanto à sua durabilidade sob condições de campo, uma vez que estas bitolas podem ser mais afetadas pela formação de sujeira. Também deve ser testada a durabilidade do ventilador em condições de campo, uma vez que foram feitos para serem utilizados em computadores. Ressalta-se também que o nível da água no reservatório deve ser constantemente checado, uma vez que o consumo de água irá depender das condições atmosféricas locais.

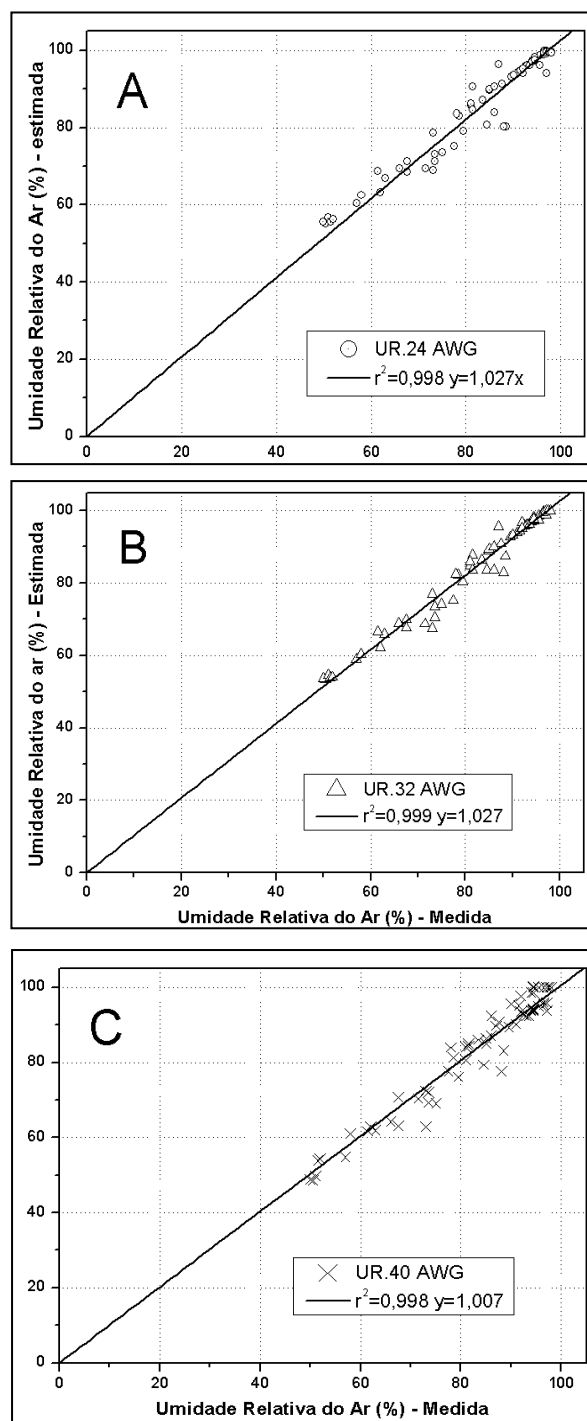


Figura 4. Análise de regressões entre a umidade relativa do ar registrada por higrômetro comercial e diferentes bitolas de termopar (24, 32, e 40AWG).

CONCLUSÃO

O psicrômetro proposto pode ser construído com qualquer uma das bitolas de termopar (24, 32 e 40AWG), uma vez que, os valores de umidade relativa do ar apresentaram boa correlação e acurácia com os valores determinados pelo higrômetro de referência, em condições de campo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por bolsa de Iniciação Científica concedida ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, S. J.; BRENNER, A. J.; GRACE, J. A low-cost psychrometer for field measurements of atmospheric humidity. **Plant, cell and Environment**, v. 17, n.2, p.219-225, 1994.
- BECKMANN, M. Z. et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.
- BINDON, H. H. A critical review of tables and charts use in psychrometry. In: WEXLER, A. (Ed.). **Humidity and moisture**. New York: Reinhold, 1965. cap. 1, p. 3-15.
- BOUERI, M. A.; LUNARDI, D. M. C. Avaliação de elementos agrometeorológicos no cultivo do cravo-de-defunto (*Tagetes* sp.) em ambiente protegido e a campo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 45-54, 2006.
- CALDWELL, M. M.; CALDWELL, M. L. A Fine wire psychrometer for measurement of humidity in the vegetation Layer. **Ecology**, v. 51, n. 5, p. 918-920, 1970.
- CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F. GALVANI, E. Avaliação de um psicrômetro de termopar de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 17-22, 2001.
- FIGUEREDO JUNIOR, L. G. M. et al. Construção e calibração de um manômetro de leituras digitais microprocessado. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 492-499, 2006.
- MARIN, F. R. et al. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 839-844, 2001.
- MENEZES, H. E. A. et al. Transmissividade e Atenuação Atmosférica e Estimativa da Irradiação Solar à Superfície em Cajazeiras-PB. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, p. 96-104, 2008.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOGGI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.
- PEZZOPANE, J. E. M; OLIVEIRA, P. C.; REIS, E. F. Alterações microclimáticas causadas pelo uso de tela plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2000.
- PEZZOPANE, J. R. M., PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Balanço de energia em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 169-177, 2007
- SILVA, T. J. A. et al. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de bowen. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 392-403, 2007.
- TEIXEIRA, A. H. de C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 28-32, 2001
- TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 468-476, 2003.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 449 p.
- VILELA, L. A. A. et al. Sistema para aquisição de dados de pressão e vazão usando o microcomputador. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 25-30, 2001.
- WIEDERHOLD, P. R. **Water vapor measurement: methods and instrumentation**. New York: Marcel Dekker, 1997. 384 p.