

**SMUT - SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO.**José Alves Júnior<sup>1\*</sup>, Wilson Nogueira Mota<sup>2</sup>, Adão W. P. Evangelista<sup>1</sup>, Derblai Casaroli<sup>1</sup>

1. Professor Doutor da Escola de agronomia da UFG

2. Estudante de Doutorado em Agronomia na UFG

**Resumo:**

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados de T e UR (SMUT) para fins agrícolas de baixo custo (estimado em US\$ 70,00). O Sistema foi construído utilizando um sensor DHT22 (AM2302) instalado em um abrigo, um relógio de tempo real (RTC), um gravador de cartões SD, acoplados a uma placa Arduino, programado para leituras a cada dez minutos e cálculo de médias T e UR a cada hora. Para comparação, o sistema foi instalado junto a duas estações meteorológicas automáticas (Posto meteorológico EA/UFG), em Goiânia-GO, e fez-se coleta de dados de Outubro a Dezembro de 2016. Os dados foram comparados através de análise de regressão, erro padrão de estimativa (EPE), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), média do erro absoluto (EMA), coeficiente de correlação simples de Person (r) e índice de concordância (d) de Willmott. Os resultados mostraram que houve correlação entre os dados da SMUT e das outras estações ( $r > 0,87$ ), com erro padrão em torno de 6% e ótimo grau de exatidão com ( $d > 0,99$ ). Recomendando-se, portanto, o uso do SMUT para o monitoramento agrícola de T e UR, na faixa de 17 a 35°C e 32 a 100%, respectivamente.

**Palavras-chave:** aquisição de dados, Arduino, DHT22

**Apoio financeiro:** Universidade Federal de Goiás / Fundação de Amparo a Pesquisa de Goiás.

**Introdução:**

Tradicionalmente, as medidas de temperatura e umidade relativa do ar nas estações meteorológicas convencionais devem ser obtidas em termômetros, psicrômetros e higrômetros específicos (VAREJÃO-SILVA, 2006) e protegidos da radiação (WMO, 2008). Entretanto, hoje existem as estações meteorológicas automáticas, as quais são compostas por sensores eletrônicos e que enviam e armazenam dados em dataloggers (GUADAGNINI & BARLETTE, 2005), porém ainda com custo elevado para o produtor de baixa renda. As plataformas de microcontroladores de baixo custo, tipo Arduino e equivalentes, facilitam o acesso às tecnologias eletrônicas e de automação. Possibilitam a criação de sistemas automatizados de baixo custo, quando comparados aos equipamentos tradicionais que executam funções semelhantes (TORRES et al., 2015). Arduino é um projeto que engloba software e hardware livres (open source) e tem como objetivo fornecer uma plataforma para prototipação de projetos interativos englobando a área da computação física, onde o software interage diretamente com o hardware, facilitando a integração com sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos (BLUM, 2015; FILIPEFLOP, 2016; ARDUINO, 2016). Com essas plataformas é possível criar sistemas de aquisição e manipulação de dados aplicáveis a vários seguimentos tecnológicos, inclusive nas medições de variáveis climáticas, com aplicações no manejo da agricultura irrigada. A utilização correta das informações climáticas pode gerar economia, consequência da redução do número de irrigações desnecessárias. Assim, reduzem-se os gastos com mão de obra, insumos, diminui o consumo de água e energia elétrica e eleva a produtividade devido à aplicação da quantidade de água que a cultura necessita (MENDES et al., 2016). Entretanto, a confecção de abrigos a baixo custo deve garantir a medição das variáveis climáticas com a mesma confiabilidade das medidas obtidas com sensores padrões em abrigos meteorológicos já existentes no mercado (PALMIERI, 2009; CASTELHANO & ROSEGHINI, 2011; AMORIM et al., 2015). Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados de temperatura e umidade relativa do ar (SMUT) para fins agrícolas de baixo custo. Os dados obtidos foram comparados com os dados de duas estações automáticas tradicionais para validar as medições e avaliar seus erros.

**Metodologia:**

O sistema é constituído por uma placa Arduino Uno, um módulo relógio de tempo real (RTC), um módulo gravador de dados em cartão SD e um sensor de temperatura e umidade relativa do ar modelo DHT 22. O módulo SD necessita de um divisor de tensão para compatibilizar sua tensão de operação de 3,3 V com a do Arduino e do restante dos componentes, que são de 5 V (FILIPEFLOP, 2016). O DHT 22 é um sistema digital composto por um sensor de umidade relativa do ar do tipo capacitivo de polímero e de um sensor de temperatura. Permite realizar leituras de temperaturas (T) entre -40 e 80°C e umidade relativa do ar (UR) entre 0 a 100%. Apresenta uma exatidão (acurácia) de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  para T e  $\pm 5\%$  para UR (AOSONG, 2016). A plataforma Arduino é composta por um microcontrolador Atmel modelo ATmega328P com seis entradas analógicas e 14 entradas/saídas digitais programadas por software, por uma porta de comunicação USB e um conversor analógico/digital (A/D) de 10 bits (ARDUINO, 2016). O módulo DS1307 é um RTC (Real Time Clock) ou relógio com indicação de data completa: ano, mês, dia, hora, minuto e segundo. Para armazenamento dos

dados, utilizou-se um cartão SD (Secure Digital) do tipo de memória flash, gerenciado pelo módulo gravador de SD. A forma de interligação e programação dos componentes utilizada foi a proposta por Filipeflop (2016). As bibliotecas dos respectivos componentes foram incorporadas ao programa principal, o qual foi implementado para satisfazer as necessidades desse trabalho. A programação completa pode ser obtida por meio dos contatos com os autores. O sensor foi protegido da radiação solar direta, do vento e da chuva de forma a evitar interferências indevidas (WMO, 2008; TORRES et al., 2015). Assim, foi acondicionado em um abrigo constituído por um tubo de PVC com diâmetro de 0,04 m e 0,40 m de comprimento, onde foi instalado o sensor no interior da extremidade superior. Na extremidade do tubo foi aberto orifícios para permitir a circulação do ar até o sensor. A proteção foi complementada com a fixação em série de três pratos plásticos brancos, do tipo usado para servir alimentos, de 0,13 m de diâmetro e 0,06 m de profundidade, distanciados 0,04 m um do outro. O conjunto foi sustentado por três tirantes de arame de 0,024 m de diâmetro e fixados com cola quente. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar registrados pelo sistema proposto foram comparados com os obtidos em uma estação meteorológica automática marca Irriplus, modelo E5000 e de outra estação automática da marca Hobo. Para isso o conjunto foi fixado em um tubo de PVC e instalado na estrutura metálica da estação Irriplus. Posteriormente o conjunto foi instalado no interior da Estação Meteorológica da Escola de Agronomia da UFG (16° 35'12" S, 49° 21'14" W, 730 m, clima Aw: quente e semi-úmido com estação seca bem definida, seca: maio a setembro, e a chuvosa: outubro a abril, com 1.520 mm/ano, temperatura média do ar 22,9 °C. Registrou-se dados de outubro a dezembro de 2016.

### Resultados e Discussão:

De maneira geral, houve correlação entre os dados de temperatura e umidade relativa do ar registrados pelo sistema proposto com os registrados nas estações utilizadas para comparação. ( $r > 0,87$ ), com erro relativo pequeno, exceto quando se compara dados da estação Hobo com o SMUT, cujo erro chega a 15,25%. Observa-se ainda que existe acurácia nas medidas, com o valor maior que 0,99 em todos os casos. No registro de dados de temperatura do ar durante o período avaliado, constatou-se que o SMUT superestima a temperatura entre 12 h e 19 h e subestima entre 07 h e 12 h e de maneira geral a umidade relativa é subestimada ao longo do dia (Figura 1). Estas diferenças são evidenciadas principalmente nos picos positivos e negativos das variáveis. Observou-se ainda que as maiores diferenças nas medidas são observadas durante o dia, entre 08 h e 18 h, nos três sensores.

Nota-se que o SMUT apresenta um atraso de resposta, tanto em temperatura quanto umidade, ou seja, demora mais que os outros sensores para detectar variações de temperatura e umidade. Uma possível explicação para este comportamento, com relação à temperatura, seria a inércia térmica da estrutura do abrigo e do invólucro do sensor. O PVC é um mau condutor de calor, assim demora para aquecer quanto para resfriar, em relação aos materiais das outras estações. Para efeito de comparação a condutividade térmica do Alumínio é  $205 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  e a do PVC é  $0,20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  (INCROPERA et al., 2007).

O sensor foi colado no interior do tubo de PVC com cola quente, formando assim uma junção com bom contato térmico. Nesta configuração o sensor (e seu invólucro) absorve calor do tubo e pratos plásticos, tendendo ao equilíbrio térmico com estes materiais. Este efeito pode ser amenizado através de outro modo de fixação, evitando o contato do sensor com a estrutura do abrigo. Na estimativa da evapotranspiração para o período de 24 horas, para fins de manejo da irrigação, houve uma pequena variação entre os valores de ETo estimados com os dados registrados com o SMUT os valores estimados com dados da estação Hobo (máximo de 13,5% ou  $0,62 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Houve uma variação média de 11,08% ( $0,48 \text{ mm dia}^{-1}$ ) quando comparado com método de Garcia-Lopez utilizando dados de T (°C) e UR (%), e 6,8% ( $0,37 \text{ mm dia}^{-1}$ ) quando comparado com o método de Hargreaves Samani utilizando apenas dados de T (°C). Assim, o SMUT pode ser recomendado para fins de manejo de irrigação, pois estudos mostram que em média os irrigantes erram em 20% na lâmina de irrigação aplicada gerando um desperdício de 30% de energia (LIMA et al., 1999).

Quanto ao atraso de resposta, o mesmo só teria implicações negativas em sistemas cujas tomadas de decisão sejam baseadas em valores máximos ou mínimos no tempo, o que não é o caso do SMUT. Observando os gráficos, verifica-se que o sistema mediu temperaturas entre 17 e 35°C e umidades entre 32 e 100%. Portanto, em princípio, recomenda-se seu uso para aplicações agrícolas dentro destas faixas de variação de temperatura e umidade do ar. Alternativas de obtenção de T e UR de baixo custo, e com confiabilidade, também foram apresentadas por Palmieri (2009), Castelhana & Roseghini (2011) e Neves (2011), porém para climas e custos diferentes.

Os preços dos componentes básicos utilizados na montagem do sistema totalizaram 67 dolares. Os preços das estações meteorológicas convencionais variam entre US\$ 1.000,00 e US\$ 10.000,00, dependendo das facilidades oferecidas. Estes custos as tornam de difícil acesso à maioria dos produtores.

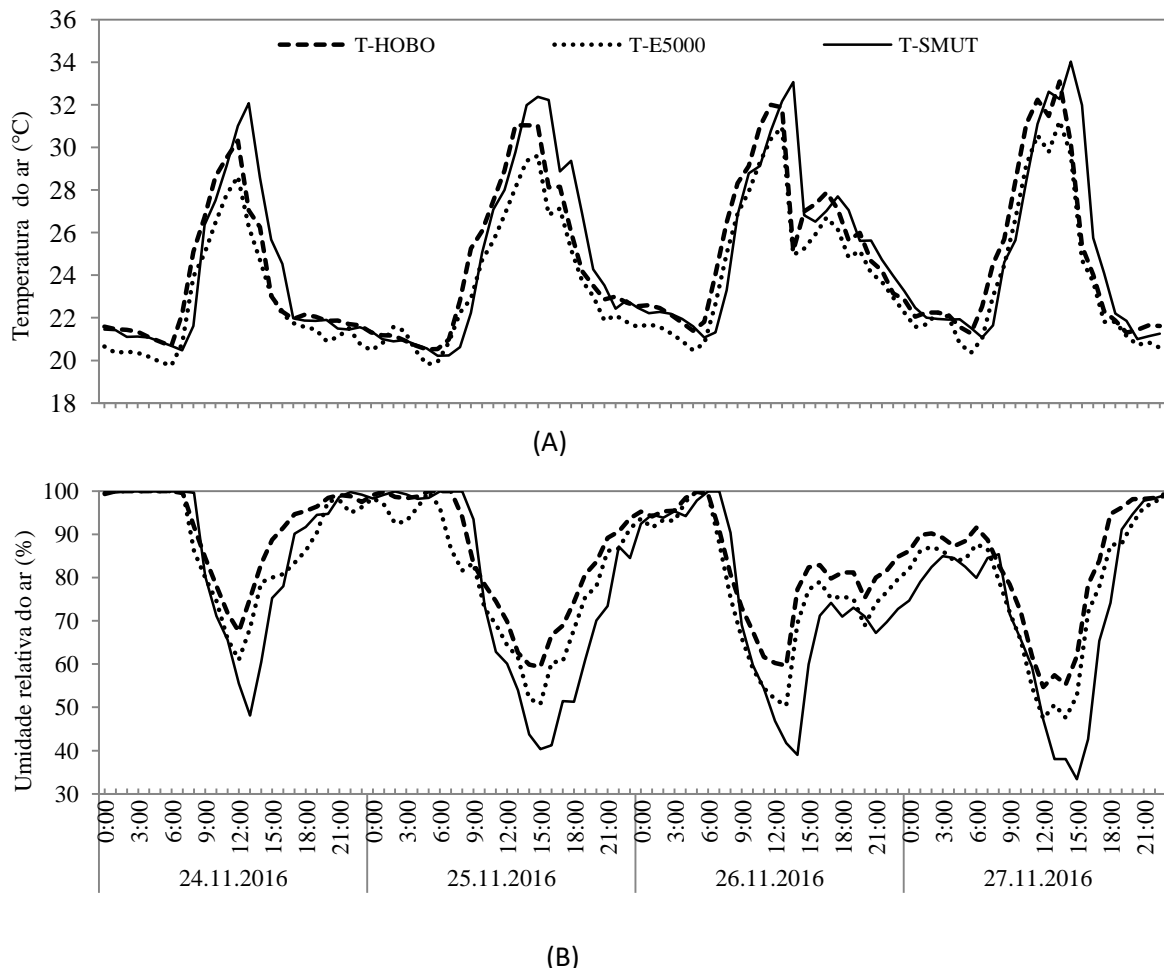


Figura 1. Variações de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante quatro dias seguidos.

### Conclusões:

O sistema desenvolvido possibilitou na medição satisfatória de dados de temperatura e umidade relativa do ar, para utilização na agricultura. A relativa facilidade de montagem, tanto do abrigo quanto da parte eletrônica e programação da plataforma Arduino, e o valor de aquisição dos materiais viabilizam a construção do equipamento cujo custo (aproximadamente US\$ 70,00) representa uma fração do custo de aquisição de uma estação meteorológica automática no mercado (US\$ 1.000,00 a US\$ 10.000,00). A plataforma Arduino pode ser recomendada como uma alternativa de hardware de aquisição de dados para medidas de variáveis climáticas. O sensor DHT22 (AM2302) acoplado a um abrigo pode ser utilizado como medidor de temperatura e umidade em condições de campo para qualquer fim, especialmente para manejo de irrigação. Recomenda-se o uso do SMUT para o monitoramento agrícola de temperatura e umidade relativa do ar, na faixa de 17 a 35°C e 32 a 100%, respectivamente.

### Referências bibliográficas

AMORIM, D. M.; COSTA, D. S.; CARVALHO, P. G. S.; GARRIDO, M. S.; GONÇALVES, I. C. M. Comparação de dados obtidos a partir de sensores de temperatura e umidade relativa do ar protegidos em um abrigo meteorológico de PVC. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 2, p. 119-124, 2015.

AOSONG. **Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22**. Disponível em <<http://www.aosong.com>>. Acesso em 01/11/2016.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 23/10/2016.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

BLUM, R. **Teach Yourself Arduino programming in 24 hours**. Indianápolis: Sams, 2015. 286 p.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

- CARVALHO, D. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 240p.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização espacial da temperatura no estado de Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 11, p. 119-134. 2012.
- CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. A utilização de policloreto de vinila (pvc) na construção de mini-abrigos meteorológicos para aplicação em campo. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.9, jun. 2011.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.159-172, 2013.
- FILIPEFLOP. Disponível em <<http://blog.filipeflop.com/arduino/datalogger-com-arduino-cartao-sd.html>>. Acesso em 31/10/2016.
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O. Evapotranspiração - Uma revisão sobre os Métodos empíricos. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão. **Documentos 263.**, p. 44, 2010.
- GARCIA BENEVIDES, J.; LOPEZ DIAZ, J. Formula para el calculo de La evapotranpiracion potencial adaptada al tropico (15oN a 15oS). **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 20, n.5, p.335-340, 1970.
- GUADAGNINI, P. H.; BARLETTE, V. E. Um termômetro eletrônico de leitura direta com termistor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 369 - 375, 2005.
- HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.111, n.1, p.113-124. 1985.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A. CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), p. 1-16, 1999.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R.; BRAGA, M. B. **Irrigação e fertirrigação**. In: CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (editores técnicos). Produção de tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012a. p. 15-27.
- NEVES, G. A. R. **Desenvolvimento de estação micrometeorológica com armazenamento de dados**. 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2007, 667p.
- PALMIERI, A. M. **Desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola**. Dissertação (Mestre em Ciências: Física no Ambiente Agrícola). 2009. 100f. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba – RS: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.
- TORRES, J. D.; MONTEIRO, I. O.; SANTOS, J. R.; ORTIZ, M. S. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. **Scientia Plena**, Aracaju, v.11, n. 2, 2015.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, Pernambuco. Brasil. 463 p. Março de 2006.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.
- WMO. World Meteorological Organization. **Guide to meteorological instruments and methods of observations**. Geneva, 2008. WMO n. 8. Disponível em <[http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_8\\_en-2012.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf)> Acesso em 02/11/2016.