

**SMUT - SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AQUISIÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO**Wilson Nogueira da Mota<sup>1</sup>; José Alves Junior<sup>2</sup>, Adão Wagner Pego Evangelista<sup>3</sup> & Derblai Casaroli<sup>4</sup>

1 - Eng. de Computação, mestrando na Escola de Agronomia da UFG, wilsonnog@yahoo.com.br

2 - Doutor em Agronomia, professor na Escola de Agronomia da UFG, josealvesufg@yahoo.com.br

3 - Doutor em Eng. Agrícola, professor na Escola de Agronomia da UFG, awpego@pq.cnpq.br

4 - Doutor em Agronomia, professor na Escola de Agronomia da UFG, derblaicasaroli@yahoo.com.br

**Palavras-chave:**aquisição de dados  
Arduino  
automação  
DHT22  
sensor**RESUMO**

A temperatura (T) e a umidade relativa do ar (UR) desempenham papéis fundamentais no manejo agrícola, sendo utilizadas, por exemplo, no cálculo da evapotranspiração de referência. Estes dados são obtidos em estações meteorológicas cujos custos variam entre US\$1.000,00 e US\$10.000,00, tornando-as de difícil acesso para a maioria dos usuários. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver 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 à 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 do SMUT e das outras estações ( $r > 0,87$ ), com erro padrão em torno de 6% e ótimo grau de exatidão ( $d > 0,99$ ). Portanto, recomenda-se o uso do SMUT para o monitoramento agrícola de T e UR na faixa de 17 a 35°C e 32 a 100%, respectivamente.

**Keywords:**Data acquisition  
Arduino  
automation  
DHT22  
sensor**SMUT – A LOW COST SYSTEM FOR AIR TEMPERATURE AND HUMIDITY ACQUISITION FOR IRRIGATION MANAGEMENT****ABSTRACT**

The air temperature (T) and relative humidity (UR) play a fundamental role in agricultural management, being used, for example, in the reference evapotranspiration estimative. Their values are usually obtained in meteorological stations, which costs vary from US\$ 1,000.00 to US\$ 10,000.00. This price makes them of hard access to most users. Thus, the objective of this work was to develop a data acquisition and storage system of T and UR (SMUT) for low cost agricultural purposes (estimated at US\$ 70.00). The System was built using a DHT22 sensor (AM2302) installed in a shelter, a real-time clock (RTC), and a SD card recorder coupled to an Arduino board. Readings were taken every ten minutes and, at each hour, averages of T and UR were calculated. For comparison the system was installed near two automatic meteorological stations in Goiânia-GO (Weather station / UFG) and data were collected from October to December 2016. To compare the data, relative error (EPE), square root of average square error (RMSE), average absolute error (EMA), Pearson's simple correlation coefficient (r), and Willmott's concordance index (d) were calculated. The results showed that there is a strong and positive correlation between the SMUT data and the other stations ( $r > 0.87$ ), with a relative error around 6% and a high degree of accuracy ( $d > 0,99$ ). Therefore, it is recommended the use of SMUT for agricultural monitoring of T and UR, in the range of 17 to 35°C and 32 to 100%, respectively.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural cada vez mais escasso, seu uso sofre restrições crescentes por parte do poder público, responsável pela concessão da outorga de uso. A agricultura irrigada é uma grande consumidora de água, sendo responsável pelo uso de aproximadamente 72% da água potável captada no Brasil (EVETT & TOLK, 2009; ANA, 2016). Essas condições, aliadas ao alto custo da energia elétrica, à alta competitividade da agricultura moderna e a pressões por sustentabilidade, exigem que a irrigação seja feita com a maior eficiência possível (MAROUELLI & SILVA, 2012b; MENDES *et al.*, 2016).

Uma maneira de racionalizar o uso da água na agricultura é realizar o manejo da irrigação via monitoramento atmosférico (ALLEN *et al.*, 1998; CARVALHO *et al.*, 2011). Para isso, é necessário o monitoramento micrometeorológico de variáveis, como: temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Mas, se for utilizado métodos simplificados para estimativa da evapotranspiração (CONCEIÇÃO & MANDELLI, 2005), são necessários apenas dados de temperatura e umidade relativa do ar (PEREIRA *et al.*, 2002; CARVALHO *et al.*, 2011). Mesmo assim, estas informações são obtidas em estações agrometeorológicas de alto custo, portanto, de difícil acesso para a maioria dos pequenos produtores (TORRES *et al.*, 2015). Na falta de informações adequadas para o manejo da irrigação, os produtores normalmente tendem a irrigar em excesso. Isso causa erosão, predisposição das plantas às doenças e desperdício de água e insumos (MAROUELLI *et al.*, 2012a). Assim, um sistema de aquisição de dados meteorológicos de baixo custo, de fácil operação e que seja acessível aos produtores irrigantes é bem-vindo.

A temperatura e umidade relativa do ar são parâmetros climáticos fundamentais na estimativa da lâmina de irrigação, sendo utilizada em muitos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração (BARROS *et al.*, 2009). A equação de Hargreaves (HARGREAVES &

SAMANI, 1985) é um método de estimativa de ETo a partir da diferença das temperaturas máxima e mínima do ar, que se baseia nas condições de nebulosidade do local e pode ser utilizado quando não se dispõe de dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012). Apesar de sua simplicidade e de ser mais recomendado para regiões que apresentam grande déficit de pressão de vapor, este método tem sido aplicado para estimativa de ETo em diferentes localidades (CARVALHO *et al.*, 2006). O método de Garcia-Lopes (Garcia-Lopes, 1970) necessita apenas de dados de temperatura média e umidade relativa do ar. Ambos os métodos são recomendados para região do Cerrado (CUNHA *et al.*, 2011).

Tradicionalmente, as medidas de temperatura e umidade relativa do ar nas estações meteorológicas convencionais devem ser obtidas por 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 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. Elas possibilitam a criação de sistemas automatizados de baixo custo, quando comparadas 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 e 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) de baixo custo para fins agrícolas. Os dados obtidos foram comparados com os dados de duas estações automáticas tradicionais, a fim de validar as medições e avaliar seus erros.

## MATERIAL E MÉTODOS

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. Estes componentes foram interligados conforme o diagrama de blocos mostrado na Figura 1. O módulo SD necessita de um divisor de tensão para compatibilizar sua tensão de operação de 3,3

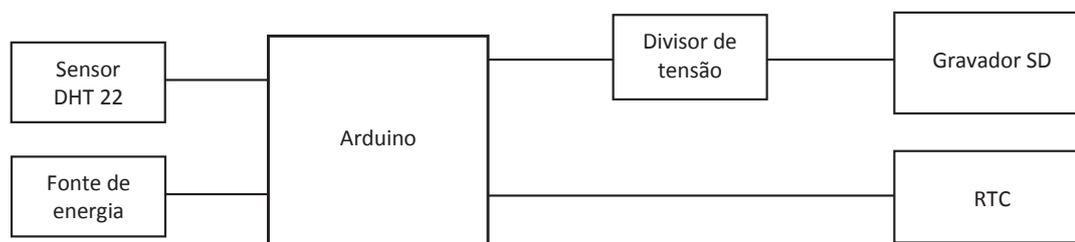
V com a do Arduino e do restante dos componentes que são de 5 V (FILIPEFLOP, 2016).

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. Ele permite realizar leituras de temperaturas (T) entre -40 e 80°C e umidade relativa do ar (UR) entre 0 a 100%. Além disso, 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, 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 memória *flash*, um cartão SD (*Secure Digital*), gerenciado pelo módulo gravador de SD.

A forma utilizada de interligação e programação dos componentes 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, ele foi acondicionado em um abrigo constituído por um tubo de PVC



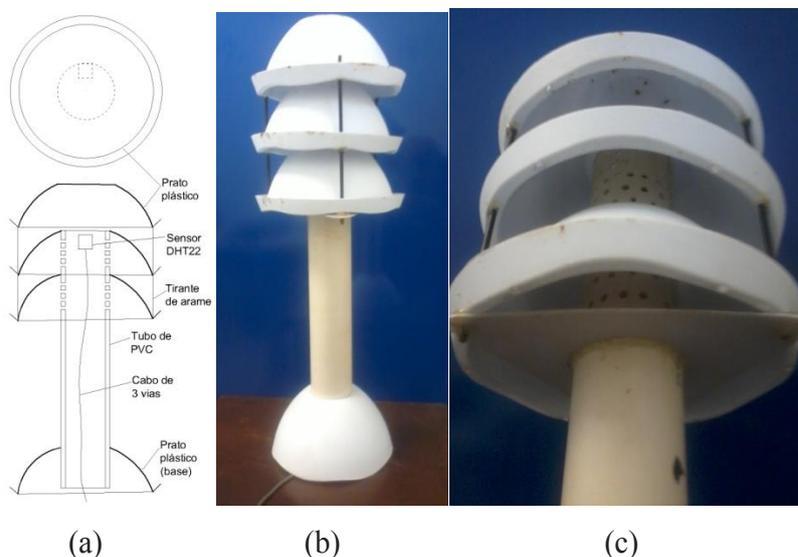
**Figura 1.** Diagrama de blocos do sistema: placa Arduino Uno, divisor de tensão de 3,3 V, um módulo gravador de dados em cartão SD, um módulo relógio de tempo real (RTC), um sensor de temperatura e umidade relativa do ar, modelo DHT 22, e fonte de energia de 5V.

(Policloreto de vinil) com diâmetro de 0,04 m e 0,40 m de comprimento, onde foi instalado o sensor no interior da extremidade superior (Figura 2a). 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.

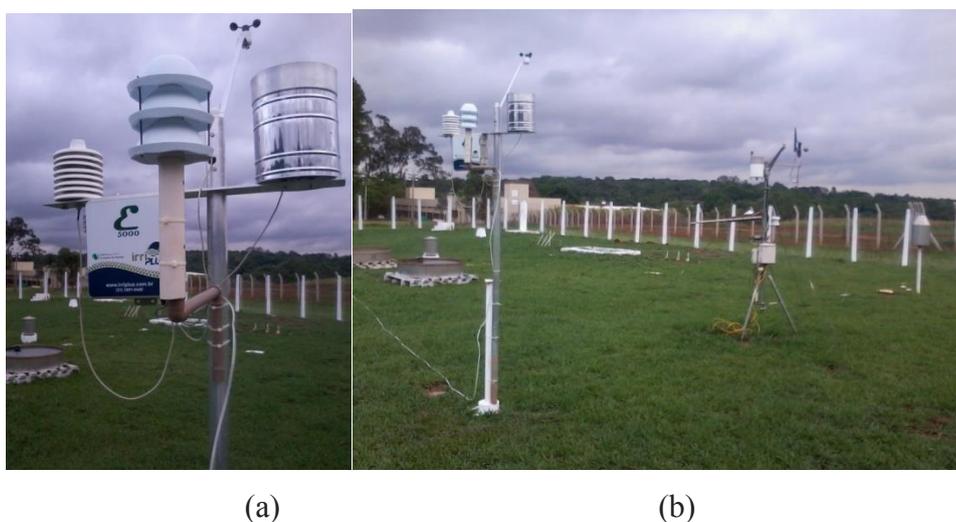
Na Figura 3, pode ser visualizado o SMUT fixado na estrutura da estação E5000, através de tubos de

PVC e instalados no interior da área de coleta de dados. Devido às suas dimensões e pouca massa, o equipamento é de fácil manuseio, podendo ser fixado em hastes por meio de abraçadeiras de *nylon*, na altura de interesse do usuário.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar registrados pelo sistema proposto (SMUT) foram comparados com os obtidos em uma estação meteorológica automática da marca Irriplus, modelo E5000, e de outra estação automática da marca Hobo (Figura 3). Para isso, o conjunto foi fixado em um tubo de PVC e instalado na estrutura metálica da estação Irriplus. Posteriormente,



**Figura 2.** SMUT – Abrigo do sensor: (a) desenho esquemático em corte (sem escala), (b) foto do abrigo montado e (c) visão da parte interna onde está alojado o sensor.



**Figura 3.** SMUT junto à estação E5000 (a) e SMUT/E5000 próximos à estação automática Hobo (b).

o conjunto foi instalado no interior da Estação Meteorológica da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás – UFG (16° 35' 12" S, 49° 21' 14" W, 730 m). A distância de instalação entre o sistema proposto e a estação Hobo foi de aproximadamente 3,5 m.

O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é Aw: quente e semi-úmido com estação seca bem definida. A estação seca concentra-se entre os meses de maio a setembro e a chuvosa prolonga-se de outubro a abril, com média anual de 1.520 mm. A temperatura média do ar anual é de 22,9 °C. A temperatura média mensal apresenta variação térmica de 4,5°C entre a média, com temperaturas amenas encontradas nos meses de junho e julho e a maior temperatura presente no mês de outubro (CARDOSO *et al.*, 2012).

O SMUT foi programado para realizar leituras dos dados de temperatura e umidade relativa do ar a cada dez minutos, registrando a média a cada hora. A estação Irriplus também faz as aquisições das variáveis climatológicas a cada dez minutos, registrando a média destes valores a cada hora. A estação Hobo registrou os dados a cada cinco minutos e para compatibilizar estes dados com os dos outros sensores, também foi calculada a sua média horária. Os dados das três estações foram registrados entre outubro e dezembro de 2016, em horários diversos (manhã, tarde e noite).

Para comparação dos resultados, foi realizado uma análise de regressão e calculados a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), a média do erro absoluto (MAE), o índice de concordância “d” proposto por Willmott (1985) que indica a precisão das medidas, o índice de

regressão ( $R^2$ ) e o coeficiente de correlação ( $r$ ). Também foi realizada a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), utilizando os métodos de Hargreave Samani (CONCEIÇÃO & MANDELLI, 2005) e Garcia-Lopez (GARCIA & LOPEZ, 1970; FERNANDES *et al.*, 2010), usando os dados de temperatura e umidade relativa do ar registrado pelo sistema proposto e pela estação da HOB0. Para o primeiro método, utilizou-se dados diários de temperatura média, máxima e mínima; o segundo método utilizou dados diários da temperatura do ar média e umidade relativa do ar média.

Finalmente, foi realizada uma comparação do custo de aquisição do sistema desenvolvido com os de equipamentos comercializados em nível nacional ou internacional. Levantamento realizado em setembro de 2016, com a cotação do dólar americano valendo R\$3,30.

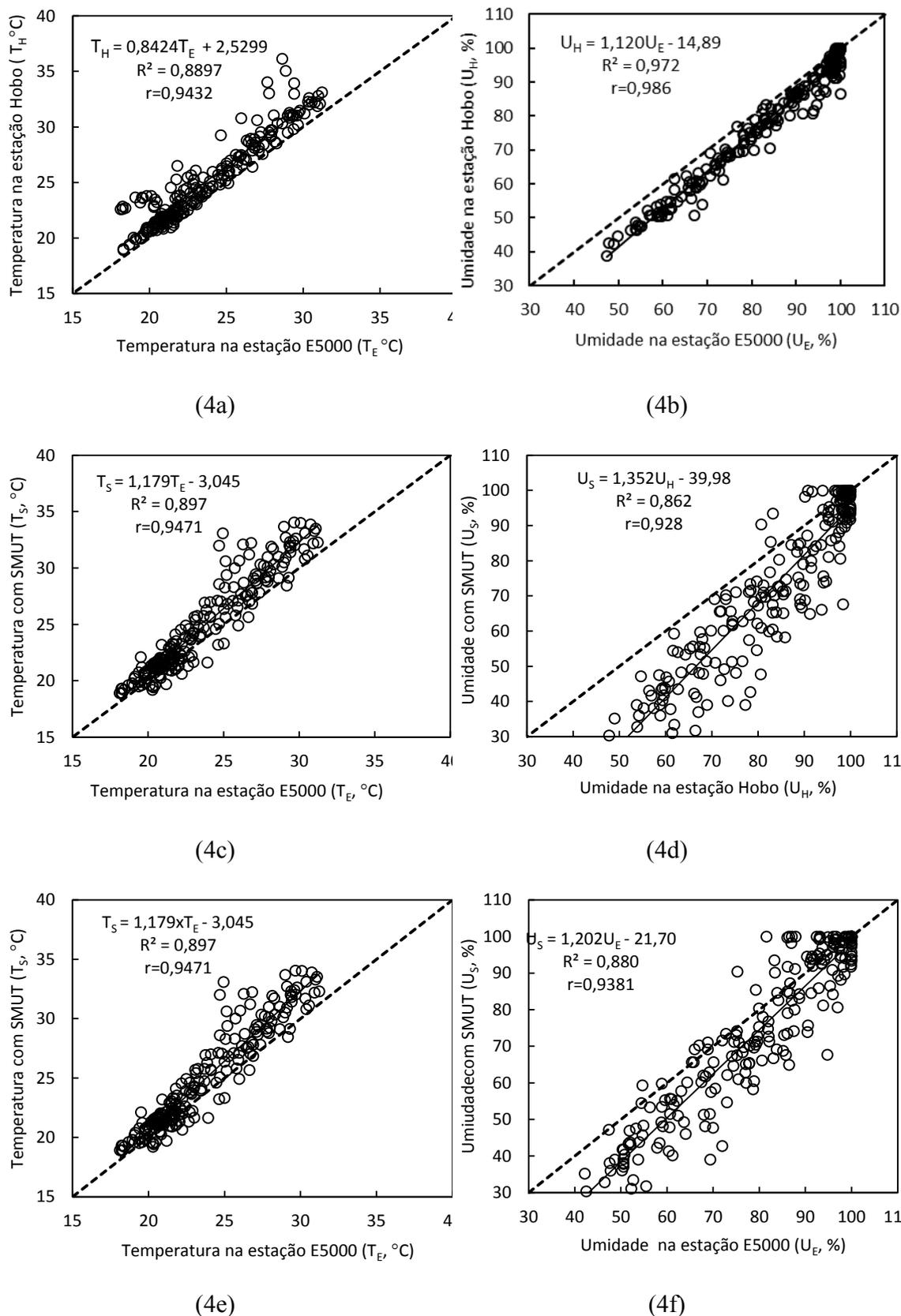
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 (Tabela 1) ( $r > 0,87$ ), 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.

A Figura 4 mostra os gráficos de correlação para as combinações de medidas de temperatura e umidade relativa do ar entre as estações Hobo x E5000, SMUT x Hobo e SMUT x E5000.

**Tabela 1.** Resumo das estatísticas aplicadas aos dados dos três sensores

	Temperatura do ar			Umidade relativa do ar		
	Hobo x SMUT	Hobo x E5000	E5000 x SMUT	Hobo x SMUT	Hobo x E5000	E5000 x SMUT
ER(%)	5,730	5,490	5,800	15,250	6,480	5,800
RMSE	2,122	1,913	1,912	14,410	5,890	1,912
MAE	0,226	1,410	-1,183	10,590	4,820	-1,180
r	0,870	0,943	0,947	0,928	0,985	0,938
R <sup>2</sup>	0,757	0,889	0,897	0,862	0,972	0,880
d	0,998	0,998	0,998	0,991	0,998	0,998

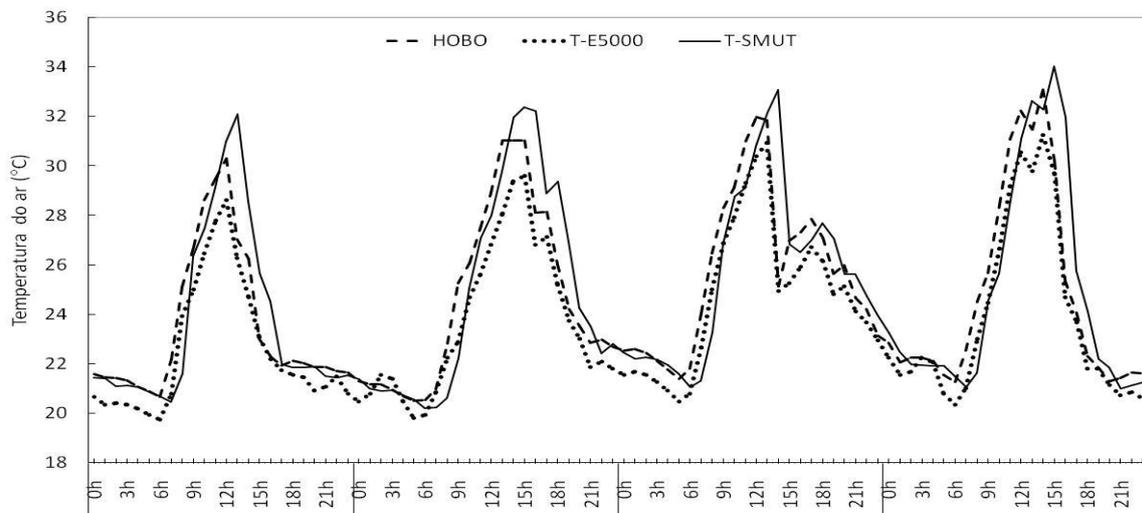


**Figura 4.** Gráficos de comparação das variáveis coletadas, temperatura do ar (4a, 4c, 4e) e umidade relativa do ar (4b, 4d, 4f), pelo sistema de medição de umidade relativa e temperatura do ar (SMUT) e as estações meteorológicas automáticas Hobo e Irriplus E5000.

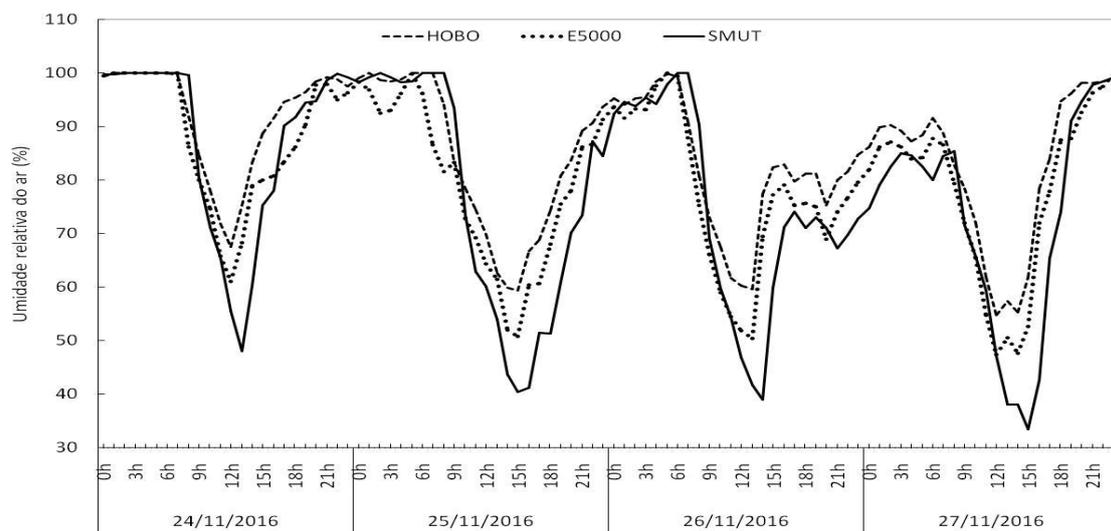
A Figura 5 apresenta uma amostra das aquisições de dados para os dias 24 a 27/11/2016. Estes dias foram escolhidos, por que se obteve uma sequência ininterrupta de aquisições de dados. No registro de dados de temperatura do ar (Figura 5<sup>a</sup>), durante o período avaliado, constatou-se que o SMUT superestima a temperatura entre 12 h e 19 h e entre 07 h e 12 h e, de maneira geral, a umidade relativa (Figura 5b) é subestimada ao longo do dia. Estas diferenças são evidenciadas principalmente nos picos positivos e negativos das variáveis. Observa-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 leva mais tempo para aquecer quanto para resfriar, quando comparado com os materiais das outras estações.



(a)



(b)

**Figura 5.** Gráficos das variações de temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) durante quatro dias seguidos, medidos pelo SMUT e pelas estações automáticas Hobo e Irriplus.

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 fixado 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 do sensor no tubo, 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 (Tabela 2) entre os valores de  $ET_0$  estimados com os dados registrados pelo SMUT e os valores estimados dos dados da estação Hobo (máximo de 13,5% ou  $0,62 \text{ mm dia}^{-1}$ , Tabela 2). Houve uma variação média de 11,08% ( $0,48 \text{ mm dia}^{-1}$ ) quando comparado com método de Garcia-Lopez, utilizando dados de T ( $^{\circ}\text{C}$ ) e UR (%), e 6,8% ( $0,37 \text{ mm dia}^{-1}$ ) quando comparado com o método de Hargreaves Samani, utilizando apenas dados de T

( $^{\circ}\text{C}$ ). 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  $35^{\circ}\text{C}$  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), Castelhamo & Roseghini (2011) e Neves (2011), porém para climas e custos diferentes.

Os preços dos componentes básicos utilizados na montagem do sistema encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 2.** Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ,  $\text{mm dia}^{-1}$ ) para os dias 24/11/2016 a 27/11/2016 estimados com os dados de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos pelo SMUT e estação da HOBO

Data	Evapotranspiração de referência – $ET_0$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ )					
	Garcia-Lopez			Hargreaves-Samani		
	HOBO	SMUT	Diferença (%)	HOBO	SMUT	Diferença (%)
24/11	3,08	3,38	8,87	4,68	5,16	9,30
25/11	3,82	4,34	11,98	5,03	5,42	7,19
26/11	4,24	4,71	9,98	5,18	5,50	5,81
27/11	3,97	4,59	13,5	5,35	5,63	4,97

**Tabela 3.** Custo dos materiais para construção do SMUT. Goiânia-GO, setembro de 2016.

Componente	Valor (US\$)
Placa Arduino Uno	23,00
Real Time Clock (RTC)	10,00
Módulo SD	7,00
Sensor DHT22	11,00
Bateria de 9 V	3,00
Tubo PVC	3,00
Pratos plásticos	2,00
Conexões	3,00
Acessórios	5,00
<b>Total</b>	<b>67,00</b>

Cotação do Dólar: R\$3,30

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.

## CONCLUSÃO

- O sistema desenvolvido possibilitou 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

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage. Paper n.56, p.333, 1998.
- 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.
- ANA – **Agência Nacional de Águas**. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. [http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=12669](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12669). Acesso em 24/10/2016.
- 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. 286p.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J.R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, p.108-116, 2006.
- 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.; OLIVEIRA, L.F.C. **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.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MANDELLI, F. **Cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura**. Embrapa Uva e vinho, Bento Gonçalves, Documentos 61, 3p. 2005.

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.

EVETT S.R.; TOLK J.A. Introduction: Can water use efficiency be modeled well enough to impact crop management? **Agronomy Journal**, Madison, v.101, n.3, p.423-425, 2009.

FILIFELOP. Disponível em <<http://blog.filifelop.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 (15°N a 15°S). **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.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Irrigação na cultura do pimentão**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012b. p.1-20.

MENDES, W.C.; ALVES JUNIOR, J.; CUNHA, P.C.R.; SILVA, A.R.; EVANGELISTA, A.W.P.; CASAROLI, D. Nitrate and potassium leaching and the response of the common bean to different irrigation blades. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v.11, n.34, p.3188-3196, 2016.

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. 463p. 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.