

## UTILIZAÇÃO DO ARDUINO NA COLETA AUTOMATIZADA DE DADOS DE UM SECADOR SOLAR

ÍCARO S. MISQUITA<sup>1</sup>, MARCUS VINÍCIUS M. OLIVEIRA<sup>2</sup>, WAGNER D. SOUZA<sup>3</sup>, JULIANA L. PAES<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Discente de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Fone: (0XX21) 96906-2639, icaromisquita@gmail.com

<sup>2, 4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia, DE/IT/UFRRJ, Seropédica - RJ.

<sup>3</sup> Bacharel em Ciência da Computação, Prof. Mestre, Depto. de Engenharia, DE/IT/UFRRJ, Seropédica - RJ.

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017

30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho foi realizado no campo experimental do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro localizada em Seropédica-RJ. Foi utilizado um secador solar construído a partir de uma estufa de laboratório. Na parte inferior da câmara foi conectado o coletor solar e na parte superior foi conectado o exaustor. O objetivo deste trabalho foi avaliar o aquecimento do ar ao longo do coletor solar. O microcontrolador Arduino foi programado utilizando o software ArduinoIDE que utiliza uma linguagem baseada na C++. Foram utilizados três sensores de temperatura e três de umidade para a coleta de dados do coletor solar. A coleta de dados foi realizada a cada três segundos. Os dados obtidos foram armazenados em um cartão SD e um arquivo .txt com os dados organizados em uma estrutura tipo CSV. A ANOVA foi aplicada com 95% de confiança utilizando o software estatístico Sisvar. Os dados coletados pelos sensores demonstraram a eficiência do coletor solar no aquecimento do ar de secagem

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem solar, programação, microcontrolador

## USING ARDUINO IN AN AUTOMATED DATA COLLECTION FROM A SOLAR COLLECTOR

**ABSTRACT:** The present work was carried out in the experimental field of the Institute of Technology of the Federal Rural University of Rio de Janeiro located in Seropédica-RJ. A solar dryer was constructed using a deactivated laboratory hot air oven. At the bottom of the drying chamber the solar collector was connected and at the top the exhaust fan was connected. The objective of this work was to evaluate the heating of the air along the solar collector. The Arduino microcontroller has been programmed using the ArduinoIDE software that uses a C ++ based language. Three temperature and three humidity sensors were used to collect data from the solar collector. Data collection was performed with three seconds interval. The data obtained was stored on an SD card as a .txt file with the data organized in a CSV-like structure. The ANOVA was applied with 95% confidence using the statistical software Sisvar. The data collected by the sensors demonstrated the efficiency of the solar collector in heating the drying air

**KEYWORDS:** Solar drying, programming, microcontroller

**INTRODUÇÃO:** Dentre as mais diversas maneiras de se preservar os alimentos a secagem se destaca por sua facilidade de execução e de baixo custo. O processo de secagem consiste na remoção da umidade de um corpo por meio da passagem de um fluxo de ar aquecido (FREIRE, 2011). A utilização de secadores baseados em combustíveis fósseis pode carregar resíduos da queima para o ar de secagem e este pode contaminar o produto que está sendo seco (CHAUHAN, KUMAR, 2016). De modo a evitar a contaminação pode-se utilizar fontes alternativas de energia para realizar o aquecimento do ar de secagem. A energia solar se destaca neste seguimento por ser facilmente disponível, de baixo custo e de fácil aproveitamento. O secador solar é um equipamento que utiliza a energia solar no aquecimento do ar de secagem. A sua principal vantagem é a impossibilidade de contaminação do produto com resíduos de combustão, visto que não existe nenhuma. Durante o período de secagem ocorrem grandes variações na temperatura interna da câmara de secagem. Estas variações influenciam na eficiência do secador solar e conseqüentemente no tempo necessário a secagem de um produto. Para estudar o comportamento do ar de secagem e deste modo realizar uma previsão mais acurada do tempo de secagem são necessários dados confiáveis e precisos (MURPHY et al., 2015). Para tal é necessária uma coleta de dados representativa do processo de secagem. A coleta de dados tradicional permite obter dados com intervalos entre medidas geralmente de alguns minutos. É de importância para a pesquisa o desenvolvimento de equipamentos capazes de coletar dados em intervalos menores e de maneira automatizada (SOLER-LLORENS et al., 2016). Um modo de coletar estes dados garantindo que todas as medidas sejam realizadas ao mesmo tempo é por meio da utilização de um microcontrolador. Microcontrolador ou unidade microcontroladora (UMC) é um circuito integrado que possui um núcleo de processamento, memória e portas de entrada e saída em um único chip. O microcontrolador pode ser programável ou não programável. Os chips não programáveis são usados para uma aplicação específica não sendo possível mudar a sua função inicial. Os microcontroladores programáveis podem ser programados diversas vezes para adaptar-se as necessidades do usuário. Um dos exemplos mais importantes de microcontrolador programável é a plataforma *open source* Arduino. O Arduino é composto por um microcontrolador fixo em uma pequena placa de circuito impresso, uma porta USB para conexão com o computador, uma entrada de fonte externa de energia e portas digitais e analógicas para conectar os sensores (KOENKA et al., 2014). As placas podem ser programadas utilizando o software de desenvolvimento livre da Arduino – Arduino IDE. Neste o código é escrito utilizando a linguagem própria do Arduino baseada na linguagem de programação C ++. O Arduino é compatível com um grande número de sensores o que a torna extremamente versátil. Os trabalhos de Gomes et al. (2011), Sheikh Ferdoush e Xinrong Li (2014) demonstraram que é possível utilizar esta plataforma na coleta de dados ambientais com sucesso. Neste trabalho a plataforma Arduino foi utilizada na coleta de dados automatizada de dados de um secador solar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O secador solar foi construído em três elementos básicos: coletor solar, câmara de secagem e exaustor (FIGURA 1). A câmara de secagem foi construída a partir de uma estufa de laboratório desativada nas dimensões de 54,5 cm de largura 78,7 cm de altura e 64 cm de comprimento.



O módulo do sensor SD observado na Figura 5 foi utilizado para fazer a conexão do cartão SD ao projeto. Neste cartão foram armazenados os dados coletados pelos sensores.



FIGURA 5. Módulo SD

A coleta de dados ocorreu no campo experimental do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O circuito elétrico juntamente com o Arduino ficou protegido das intempéries no laboratório de Monitoramento Ambiental III – “Atmosfera e Emissões” e a conexão com os sensores foi realizada por cabos tipo manga. Neste presente trabalho foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar de secagem utilizando o Arduino, o posicionamento dos sensores pode ser observado na Figura 6.



FIGURA 6. Localização dos sensores do Arduino no coletor solar.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Durante a coleta de dados os sensores de temperatura LM35 apresentaram muitos ruídos, quando estavam a uma distância superior a 1m do microcontrolador. O que ocorreu foi que a tensão de alimentação de cinco volts se dissipava no trajeto Arduino-sensor provocando os ruídos. Este problema foi solucionado quando o Arduino passou a ser alimentado com uma fonte externa com 12V e 1A. No experimento foi aplicado o delineamento em blocos ao acaso. Os dados foram agrupados em blocos com cinco repetições entre blocos. Cada bloco correspondeu a um intervalo de 15 min entre coletas e as cinco repetições foram as cinco primeiras coletas realizadas neste intervalo. O grau de confiança adotado foi de 95%. Os blocos foram a hora da coleta (período de coleta) dos dados. Os tratamentos corresponderam aos sensores utilizados (sensor) para as variáveis temperatura, umidade e déficit de pressão de vapor (DPV). As hipóteses foram H0 as médias são estatisticamente iguais e H1 as médias diferem estatisticamente entre elas.

TABELA 1. Tabela de análise de variância para a temperatura no coletor solar.

**Variance table for solar collector temperature.**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>PR&gt;FC</i>
Período de coleta	35	121497,9792	3471,370835	39,14	0,000
Sensor	2	28070,59069	14035,29535	158,248	0,000
Erro	1041	92328,17779	88,691813		
Total corrigido	1079	242257,4313			
CV	20,83	Número de	1080		
Média geral	45	observações			

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – Quadrado Médio; FC – Valor de F calculado; PR - P valor

A análise da Tabela 1 demonstrou que os blocos (período de coleta) e os tratamento (Sensor) rejeitaram a hipótese  $H_0$  ( $Pr>F_c = 0,0000$ ) ao nível de 5% de significância. O que indica que em pelo menos um dos blocos difere dos demais de maneira estatisticamente significativa. O mesmo ocorre para o tratamento pelo menos um deles difere dos demais. O coeficiente de variação de 20% está entre o recomendado para análises em campo, sendo inferior a 30% (GOMES, 1990). Este fato indica que os dados coletados representaram bem a realidade do experimento para a variável temperatura.

Teste Scott-Knott para o período de coleta

O teste de Scott-Knott para o período de coleta classificou os resultados em 5 classes estatisticamente diferentes de maneira crescente com as menores médias classificadas como a1 e as maiores como a5, estas foram representadas na Figura 7 com algarismos, onde a1 foi representado com 1, a2 com 2 e assim sucessivamente.

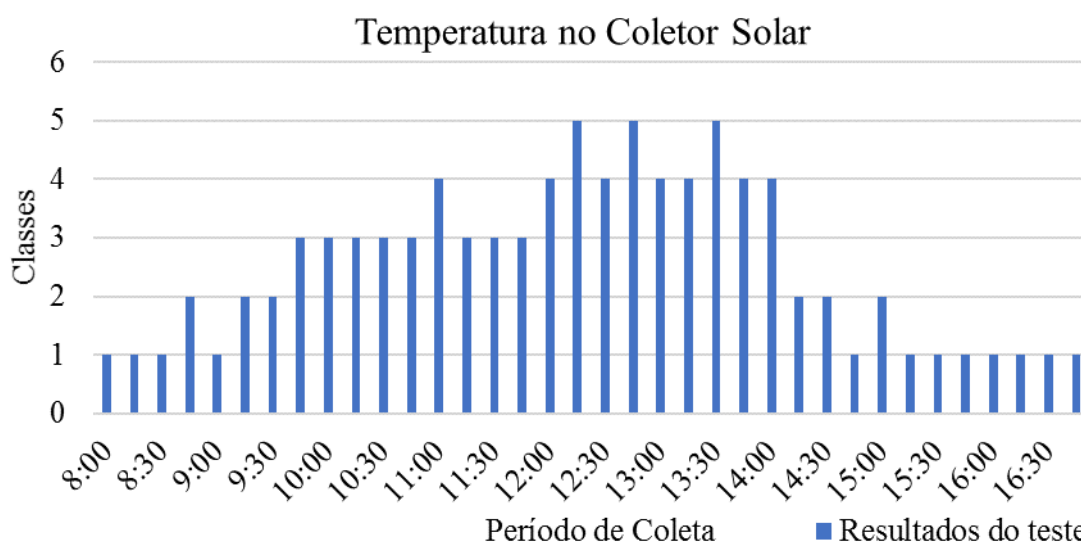


FIGURA 7. Resultados do teste de Scott-Knott para o período de coleta com a variável temperatura

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 30 e erro padrão igual a 1,71941669799686. O resultado demonstrou que as maiores médias de temperatura ocorreram no intervalo compreendido entre às 11h e as 14h (valores a4 e

a5). As menores médias (a1) foram obtidas no início da manhã, de 8h as 9h, e no fim da tarde, a partir das 15:30. Os resultados encontrados ficaram dentro do esperado, porque os períodos onde ocorreram as maiores médias de temperatura são os períodos onde há a maior incidência de radiação solar. O mesmo fenômeno ocorreu com as menores médias, estas foram encontradas nos períodos onde a incidência solar é menor. É importante ressaltar que o experimento foi realizado durante o horário de verão.

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Scott e Knott para a temperatura no coletor solar, a análise dos dados apresentados demonstraram que os três sensores foram estaticamente diferentes ao nível de 5%.

TABELA 2. Resultado do teste de Scott-Knott para os sensores com a variável temperatura.

**Scott-Knott's test results for the sensors with the temperature variable.**

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
LM35 Inferior - Coletor	38,026306	a1
LM35 Topo - Coletor	48,204278	a2
LM35 Centro - Coletor	49,381667	a2

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 360 e erro padrão igual a 0,496352846718813. O sensor LM35 que se localiza na entrada de ar para o sistema apresentou as menores médias, as maiores médias foram obtidas no centro do coletor. A diferença entre a média do LM35 do centro e o do topo foi muito pequena, o que não justificaria os gastos com o sensor, cabos, energia e linha de código no algoritmo. Sendo possível sua remoção do projeto sem grandes perdas na qualidade do projeto. A diferença nas médias dos sensores expõe o ganho de temperatura no ar de secagem conforme o mesmo realiza seu trajeto pelo coletor solar. A Tabela 3 de análise de variância demonstra que ambos o bloco e o tratamento rejeitam  $H_0$  ao nível de 5% de significância ( $PR > FC = 0,000$ ). Estes resultados permitem concluir que ao menos uma das médias dos blocos e dos tratamentos diferem dos demais de modo estatisticamente significativo.

TABELA 3. Tabela de variância para a umidade relativa no coletor solar.

**Variance table for the relative humidity in the solar collector.**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>PR &gt; FC</i>
Período de coleta	35	317833,7407	9080,964021	397,135	0,000
Sensor	2	64620,97963	32310,48982	1413,024	0,000
Erro	1041	23803,72037	22,866206		
Total corrigido	1079	407059,2741			
Cv	11,24	Número de	1080		
Média geral	42,5259259	observações			

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – Quadrado Médio; FC – Valor de F calculado; PR - P valor

O CV encontrado foi de 11,24%, menor que o valor de referência sugerido por Gomes, (1990). O que indica que os dados coletados representaram de maneira satisfatória o que ocorreu no mundo real para a variável umidade relativa.

A Figura 8 demonstra o comportamento da curva de umidade durante o período de coleta.

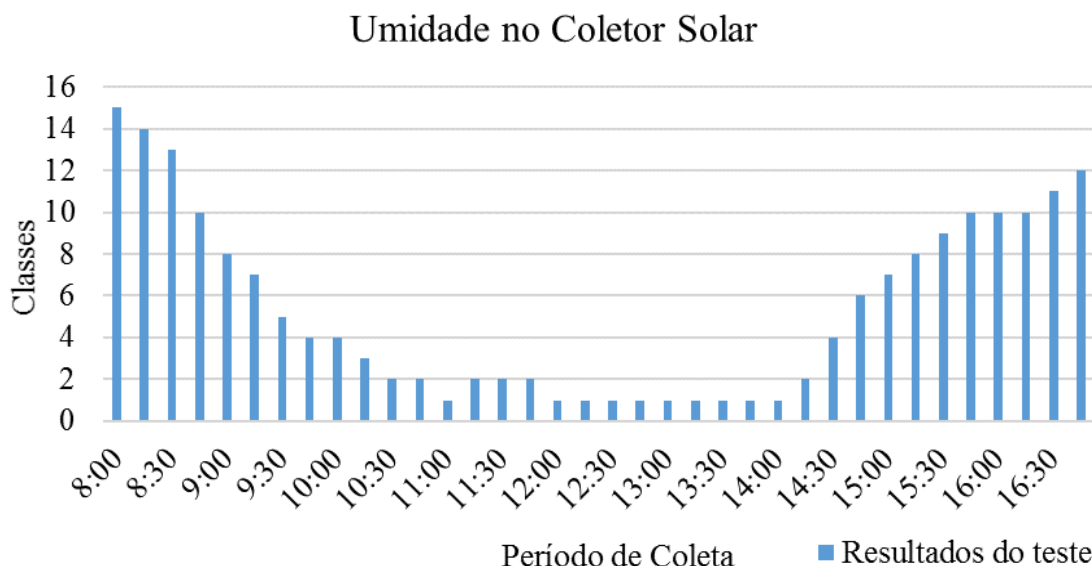


FIGURA 8. Resultados do teste de Scott-Knott para o período de coleta com a variável umidade

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 30 e erro padrão igual a 0,873044594648503. A análise do teste de Scott-Knott demonstrou que a umidade segue um padrão inversamente proporcional a temperatura, quando a temperatura é máxima a umidade é mínima. Os menores valores de umidade (a1) foram obtidos no intervalo de 11h e 14h, o mesmo intervalo em que foram obtidas as maiores temperaturas.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do teste de Scott e Knott para a umidade relativa do ar na câmara de secagem.

TABELA 4 – Resultado do teste de Scott e Knott para os sensores para variável umidade relativa.

**Result of the Scott and Knott test for the sensors for relative humidity variable.**

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Sensor DHT11 Topo	41,335000	a1
Sensor DHT11 Centro	42,585000	a1
Sensor DHT11 Inferior	55,155000	a2

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 20 e erro padrão igual a 1,14331521500025. Os sensores do CENTRO e do TOPO foram estatisticamente iguais, o mesmo ocorreu com o LM35. Estes resultados indicam que a temperatura e a umidade obtidas no centro da câmara e no topo são estatisticamente iguais, o que não justifica o gasto com os dois pares de sensores. O que indica que basta

realizar a coleta destes dados na entrada e na saída do coletor para encontrar uma precisão semelhante nos dados. Portanto os sensores localizados no centro do coletor podem ser removidos sem grandes perdas de precisão na análise do coletor solar.

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise de variância para a DPV no coletor solar com 95% de confiança.

TABELA 5. Tabela de variância para a DPV no coletor solar.

**Variance table for the DPV in the solar collector.**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>PR&gt;FC</i>
Período de coleta	35	44058,29151	1258,808329	28,366	0,000
Sensor	2	11047,58293	5523,791463	124,474	0,000
Erro	1041	46196,68297	44,377217		
Total corrigido	1079	101504,0163			
Cv	79,03	Número de	1080		
Média geral:	8,4288611	observações:			

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – Quadrado Médio; FC – Valor de F calculado; PR - P valor

A análise da Tabela 5 permite concluir que o tratamento e os blocos rejeitaram a hipótese H0 ( $Pr>F_c = 0,00$ ) indicando diferença em pelo menos uma de suas médias. O CV encontrado de 79,03% foi muito acima do máximo recomendado de 30% (GOMES, 1990). Este resultado indica que houve uma variação muito grande entre os dados. Os resultados encontrados sofreram influência de fatores externos o que tornou este experimento muito impreciso não representado de maneira satisfatória o que ocorreu realmente no experimento. Como este parâmetro não foi medido em campo e sim calculado utilizando a temperatura e a umidade obtidos pelos sensores LM35 e DHT11 respectivamente, este resultado indica que o erro adveio de um dos parâmetros anteriormente citados.

A Figura 9 demonstra o comportamento da curva de umidade durante o período de coleta.

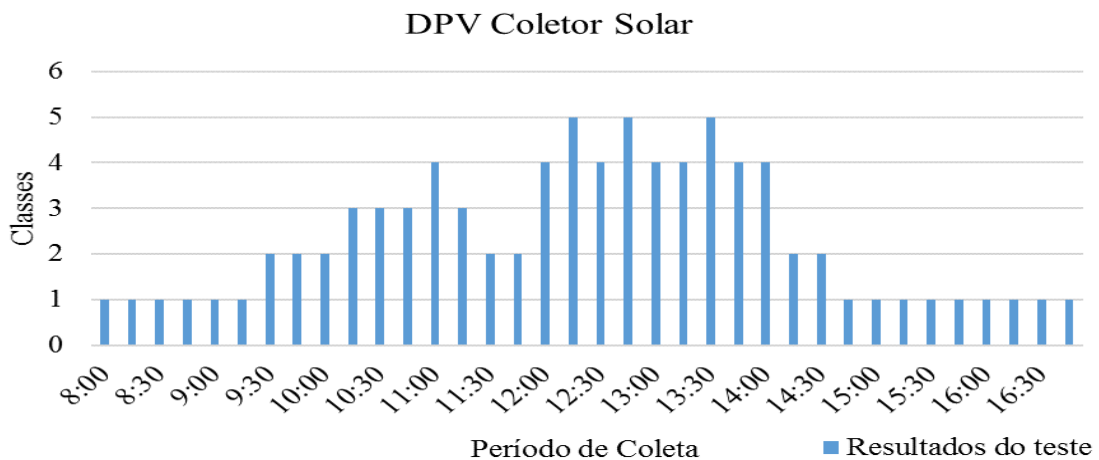


FIGURA 9 - Resultados do teste de Scott-Knott para o período de coleta com a variável DPV

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 30 e erro padrão igual a 1,21624034182079. O teste de Scott-Knott demonstra que os maiores valores da DPV foram encontrados no intervalo entre 12h e às 14h. Como quanto maior a DPV maior a tendência de evaporação de um líquido, no caso do coletor solar este valor está diretamente ligado a eficiência de remoção de água de um corpo, ou seja, a eficiência de secagem. Durante o período citado o ar de secagem teve a maior eficiência de secagem para o período analisado.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados do teste de Scott e Knott para a umidade relativa do ar na câmara de secagem.

TABELA 6 – Resultado do teste de Scott-Knott para a variável DPV.

**Result of the Scott-Knott test for the DPV variable.**

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
DPV 1 - DHT11 e LM35 Inferiores	3,907917	a1
DPV 2 - DHT11 e LM35 Central	10.568250	a2
DPV 3 - DHT11 e LM35 Topo	10.810417	a2

O teste de Scott-Knott com média harmônica do número de repetições igual a 360 e erro padrão igual a 0,351098344374758. A análise da DPV demonstra a mesma tendência observada nos testes anteriores, os sensores do CENTRO e do TOPO foram estatisticamente iguais. O que indica fortemente que os sensores utilizados no centro devem ser removidos. A diferença entre as médias nos sensores inferiores e nos sensores do topo demonstram a eficiência do coletor em elevar a temperatura e remover umidade do ar de secagem, aumentando sua eficiência.

**CONCLUSÕES:** A partir dos dados coletados concluiu-se que o projeto obteve sucesso em realizar a coleta automatizada de dados de um secador solar utilizando a plataforma Arduino. O algoritmo desenvolvido realizou de maneira satisfatória a leitura dos sensores, sua interpretação e o posterior armazenamento destes dados sobre o padrão CSV. O Arduino obteve êxito em coletar dos dados em um intervalo pré-definido e em armazenar os dados coletados em um cartão SD utilizando o padrão CSV.

## REFERÊNCIAS

- CHAUHAN, P.S.; KUMAR, A. Performance analysis of greenhouse dryer by using insulated north-wall under natural convection mode. **Energy Reports**, Amsterdam, V.2, p. 107–116, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484716300178>>. Acesso em: 25 jul. 2016
- FREIRE, L.A.C. **Montagem e operação de um secador pneumático tipo Flash**. 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Revista de Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERDOUSH, S.; LI, X. Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. In: The 9th International Conference on Future Networks and Communications / **Procedia Computer Science**, 34., 2014. p. 103 – 110.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

GOMES, J.M. **Implementation of an intelligent sensor for measurement and prediction of solar radiation and atmospheric temperature**. 2011. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Telecomunicações) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro, 2011.

KOENKA, I. J.; SÁIZ, J.; HAUSER, P. C. Instrumentino: an open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. **Computer Physics Communications**, Amsterdam, v.185, n.10, p. 2724-2729, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010465514002112>>. Acesso em: 25 jul. 2016

MURPHY, K.; HEERY, B.; SULLIVAN, T.; ZHANG, D.; PALUDETTI, L.; LAU, K.T.; DIAMOND, D.; COSTA, E. O'CONNOR, N.; REGAN, F. A low-cost autonomous optical sensor for water quality monitoring. **Talanta**, Amsterdam, v.132, p.520–527, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039914014008236>>. Acesso em: 25 jul. 2016

SOLER-LLORENS, J.L.; GALIANA-MERINO, J.J.; GINER-CATURLA, J.; JAUREGUI-ESLAVA, P.; ROSA-CINTAS, S.; ROSA-HERRANZ, J. Development and programming of Geophonino: A low cost Arduino-based seismic recorder for vertical geophones. **Computers e Geosciences**, Amsterdam, v. 94, p.1-10, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300416301364>>. Acesso em: 25 jul. 2016