



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AUTOMAÇÃO DE MEDIÇÃO E REGISTRO DE DADOS DE TEMPERATURA UTILIZANDO PLACA MICROCONTROLADORA ARDUINO UNO APLICADO A UM DESSALINIZADOR TÉRMICO

Eugênio Pacelli Teles Filho, eugeniopacelli.tf@gmail.com¹

Paulo Alexandre Costa Rocha, paulo.rocha@ufc.br¹

Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹

Thiago Taketaro Guilherme Watanabe, taketaro@outlook.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60020-181

Resumo: *Sistemas com reaproveitamento de calor necessitam de constantes medições de temperatura para análise dos dados e elaboração de gráficos de desempenho. Embora haja dispositivos no mercado que realizem tal função, estes não costumam ter um preço acessível, além de serem de difícil manutenção, dependente dos seus fornecedores. Diante disso, neste trabalho, realizado pelo Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN), elaborou-se um sistema eletrônico com a placa microcontroladora Arduino UNO para obtenção dos dados das temperaturas e para gravação em um cartão microSD, caracterizando-se por ser um sistema de baixo custo e de fácil manutenção, haja vista que utiliza linguagem C, componentes de eletrônica e software livre, por exemplo, recursos acessíveis aos estudantes. Tomou-se um dessalinizador térmico acoplado a um fogão solar, já existente no LESGN-UFC, para a aplicação do projeto. Para medir as temperaturas dos estágios, utilizaram-se cinco sensores DS18B20 digitais, com revestimento à prova d'água, resolução de 0,06 °C e com demanda de somente uma porta do Arduino para a leitura de todos os sensores, os quais foram soldados numa placa de circuito impresso perfurada. As medições de temperatura são feitas num intervalo de tempo de dois minutos e os valores são armazenados num cartão de memória de 4 GB juntamente com o horário do instante, obtidos a partir de um módulo Real-Time Clock (RTC), um relógio de tempo real com calendário completo. Os testes foram feitos em paralelo com um datalogger convencional calibrado e os dados foram plotados num gráfico comparativo. A análise de variância e o coeficiente de correlação mostraram que o sistema se mostrou bastante promissor, cumprindo os objetivos propostos e custando pelo menos 80% menos que um datalogger de configurações similares ao do deste trabalho. Diante destes resultados, ressalta-se que o projeto com o Arduino precisa de uma pequena calibração e mais estudos até que se prove confiável.*

Palavras-chave: *Arduino, datalogger, temperatura, dessalinizador térmico, análise estatística.*

1. INTRODUÇÃO

Na área térmica, existem diversas aplicações nas quais podem ser necessárias constantes medidas e armazenamento dos dados de temperatura. Dentre elas, os dessalinizadores solares com recuperação de calor representam um exemplo no qual já são necessários pelo menos cinco sensores, devido à sua complexidade, com a utilização de vários estágios (bandejas metálicas com água aquecida) para reaproveitamento de energia. Embora bastante relevantes para a sociedade, especialmente nos locais mais secos, o custo de instalação dos dessalinizadores ainda é muito alto, bem como os dispositivos encontrados no mercado para armazenar os dados das temperaturas dos estágios. Além disso, estes costumam ser de difícil manutenção e às vezes não possuem um armazenamento interno, sendo necessária a presença em conjunto de um computador utilizando algum software específico (GAD, H.E. 2014), restringindo em alguns casos o campo de aplicação.

Nesse contexto, os microcontroladores emergem como uma alternativa viável e de baixo custo para suprir a necessidade de tais dispositivos. Além dos sensores, pode-se instalar uma memória de armazenamento interna - como um cartão de memória -, substituindo a necessidade de auxílio de um computador durante os experimentos para apenas uma coleta de dados após o experimento.

O Arduino, Fig. 1, destaca-se por ser uma plataforma de hardware já modelada, dispensando conhecimentos muito aprofundados em eletrônica. Além disso, utiliza-se em sua programação a linguagem C, sendo por esses motivos bastante indicado a estudantes iniciantes na área.



Figura 1. Placa microcontroladora Arduino UNO.

Este trabalho foi realizado com objetivo de utilizar o Arduino e seus componentes de forma a baratear e tornar mais prático o método de medição e armazenamento de dados de temperatura no Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN) da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde diversos dessalinizadores solares se encontram em operação. Dentre os objetivos específicos desejáveis no sistema, destacam-se:

- Baixo custo, utilizando componentes eletrônicos e *software* livre;
- Medições de temperatura com alta precisão;
- Sistema de armazenamento de dados eficiente;
- Operação independente de um computador e com baixa demanda de energia;
- Construção simplificada e fácil manutenção

2. METODOLOGIA

2.1. Hardware



Figura 2. Da esquerda para direita: sensores de temperatura DS18B20, módulo SD e módulo RTC. Fonte: próprio autor.

Os cinco sensores de temperatura DS18B20, da marca Dallas, com revestimento à prova d'água, utilizam porta digital para a leitura dos dados e sua grande vantagem é a possibilidade de conectar vários sensores em paralelo na mesma porta digital da placa microcontroladora para a transferência dos dados, compensando a pequena quantidade de portas do Arduino UNO. Isto ocorre devido a cada sensor ser identificado pelo seu endereço. De acordo com o *datasheet*, seu range de temperatura varia de -55 °C a

125 °C e possui precisão de $\pm 0,5$ °C, atendendo às necessidades de um projeto que utiliza a água, por exemplo. A alimentação é feita com tensão de 5V.

Os dados gravados no cartão de memória, Fig. 2, são alocados num bloco de notas e podem ser facilmente manipulados e analisados em um programa como de planilha eletrônica. É importante apontar ainda que, após realização de pesquisa acerca de cartões de memória, decidiu-se utilizar um da marca SanDisk, pois é recomendada por desenvolvedores independentes para este tipo de aplicação, juntamente com os da marca Kingston, segundo Michael McRoberts (2010, p.348).

O Módulo *Real-Time Clock* DS1307, Fig. 2 é um relógio em tempo real com calendário completo que possui uma bateria do tipo moeda, de modo que a data e a hora permanecem atualizadas mesmo quando o sistema não está energizado.

Além destes principais componentes, utilizaram-se alguns materiais de eletrônica: *protoboard*, fios *jumpers*, resistor, placa de soldagem perfurada, ferramentas para soldagem e uma fonte de 12V para alimentação da placa. A Fig. 3 mostra o esquema ilustrativo.

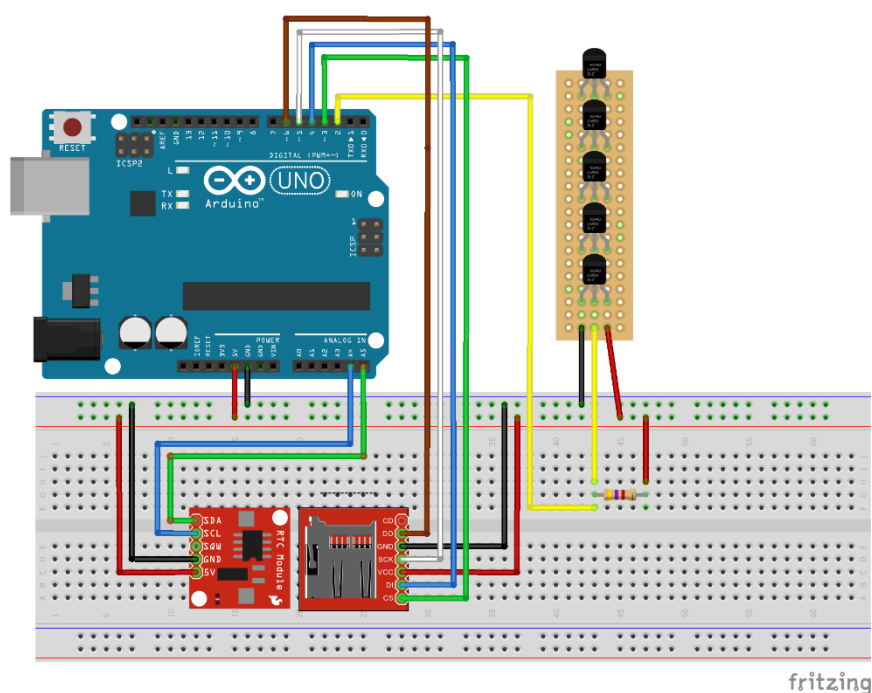


Figura 3. Esquema ilustrativo do circuito definitivo. Fonte: desenhada pelo autor no *software* Fritzing.

2.2. O software do sistema

O código em linguagem C foi escrito na IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino de forma que os sensores, o cartão de memória e o módulo RTC são testados antes do início das medições. Caso algum componente não esteja em funcionamento, o programa encerra. Caso tudo esteja funcionando perfeitamente, os dados de temperatura provenientes dos sensores são gravados num arquivo de texto dentro do cartão de memória. Posteriormente, estes dados são utilizados para gerar gráficos, facilitando assim a análise dos resultados. O código segue a lógica do fluxograma da Fig. 5.

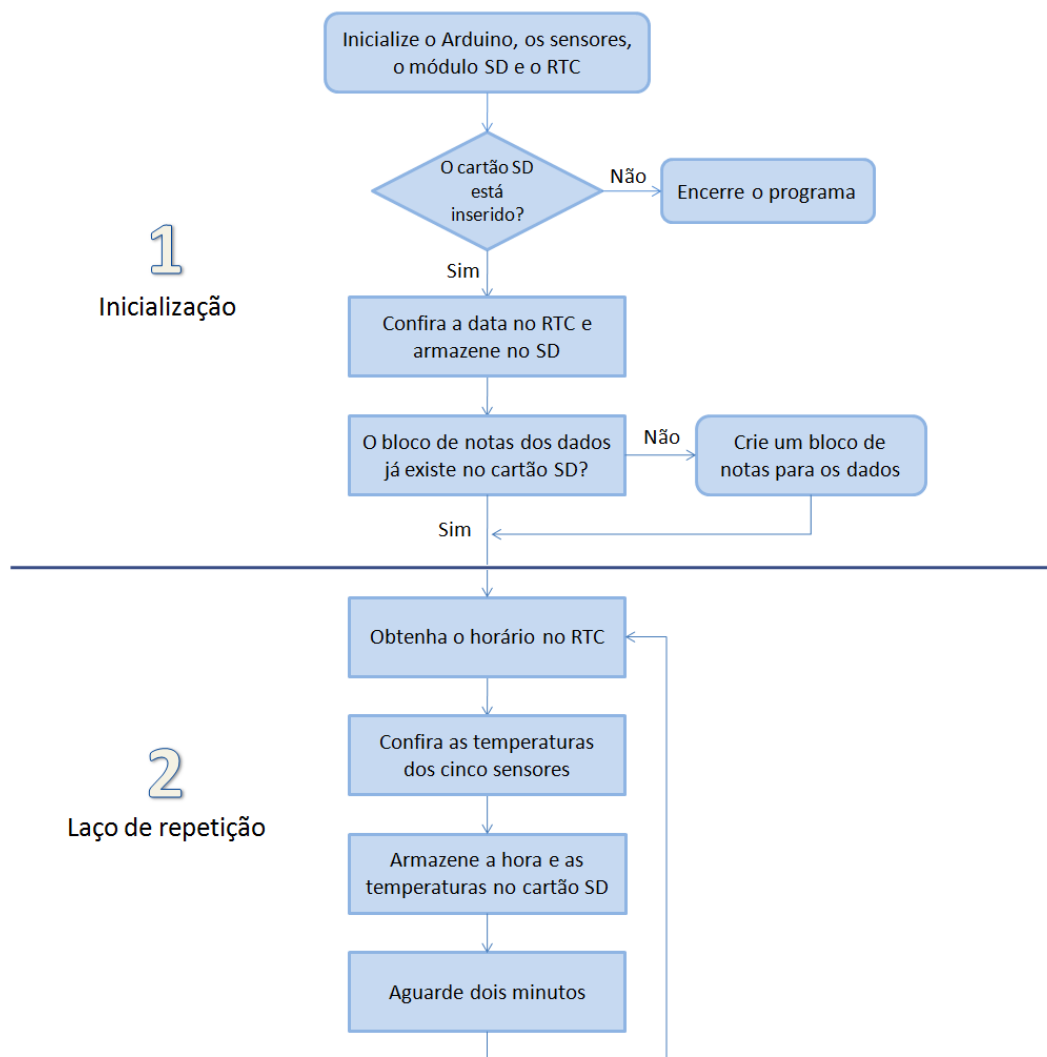


Figura 4. Fluxograma do programa do Arduino

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados armazenados no cartão micro SD são dispostos como na Fig. 5.

DATALOG.TXT - Bloco de notas						
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda						
Date = 20/04/2016						
Time = 08:36:51	Temperatures:	31.06	30.69	30.75	30.94	30.94
Time = 08:37:21	Temperatures:	31.13	30.81	30.94	31.00	31.00
Time = 08:37:51	Temperatures:	31.13	30.38	32.81	31.00	30.75
Time = 08:38:21	Temperatures:	30.81	29.81	33.06	31.06	31.44
Time = 08:38:51	Temperatures:	30.81	29.63	31.56	31.88	31.75
Time = 08:39:21	Temperatures:	31.19	29.63	31.31	32.00	31.81
Time = 08:39:51	Temperatures:	31.31	29.69	31.06	32.50	31.88
Time = 08:40:21	Temperatures:	31.56	29.81	31.06	34.69	31.94
Time = 08:40:51	Temperatures:	31.75	30.00	31.06	34.38	32.19
Time = 08:41:21	Temperatures:	31.81	30.06	31.00	34.31	32.38

Figura 5. Bloco de notas com os dados gravados no cartão micro SD. Medições feitas em trinta segundos para testes. Temperaturas dos sensores 1 ao 5, em graus Celsius.

3.1. Testes de medição

Para efeitos comparativos, realizou-se teste comparativo com um *datalogger* convencional já existente no LESGN modelo RDXL 12SD da marca Ômega, o qual possui capacidade para até doze sensores de temperatura, grava os dados num cartão SD juntamente com a data e a hora e pode ser alimentado com pilhas. Utilizaram-se termopares do tipo K, com fios de Cromo e Alumel, uma liga de Níquel e Alumínio. As temperaturas eram lidas e armazenadas a cada 2 minutos. O gráfico da Fig. 6 mostra as temperaturas medidas em experimento simultâneo com o registrador de dados em estudo e o convencional.

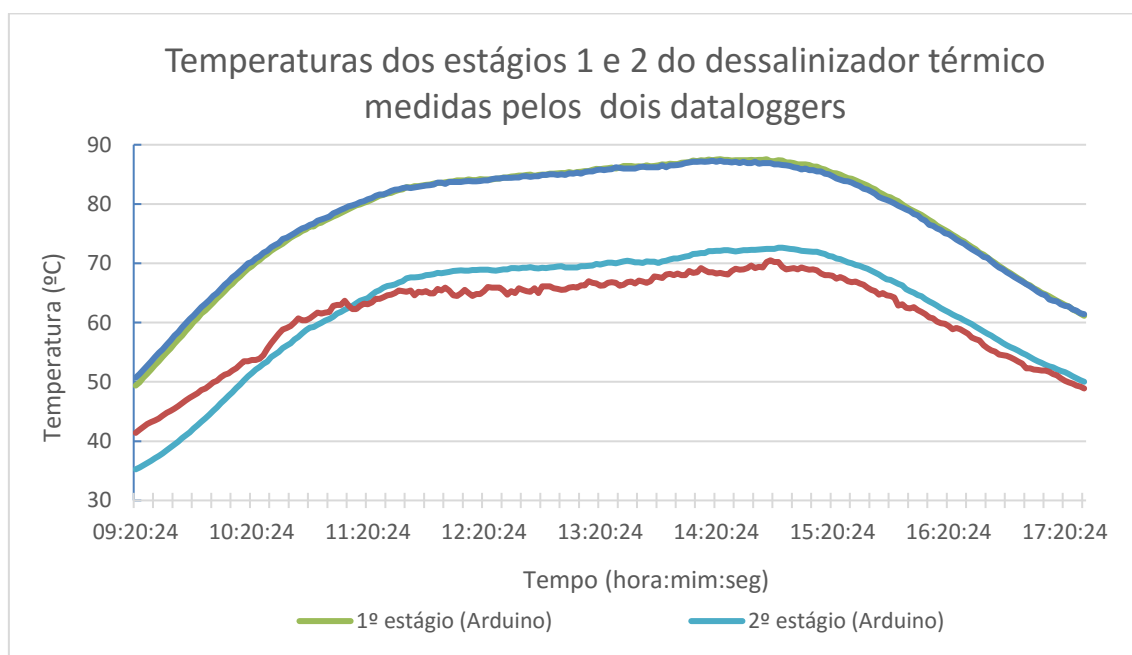


Figura 6. Gráfico com as temperaturas lidas pelos dois dispositivos.

Percebe-se claramente que os dois dispositivos tiveram medidas muito próximas no primeiro estágio do dessalinizador. No entanto não foram tão próximas assim no segundo estágio, embora tenham seguido o mesmo comportamento. Uma provável explicação para tal diferença é o arranjo dos sensores no estágio. Acredita-se que o sensor do projeto com Arduino no segundo estágio tenha entrado em contato com a bandeja metálica, medindo a temperatura da parede, enquanto o termopar ficou em suspensão na água, medindo a temperatura do líquido, levemente inferior à da parede metálica. Para os dois casos, uma análise estatística pode determinar se os valores lidos são próximos o suficiente para afirmar que o sistema com o Arduino pode substituir o sistema convencional.

3.2. Análise estatística

Após a coleta dos dados dos dois dataloggers, utilizou-se uma planilha eletrônica para fazer algumas análises estatísticas, descritas com mais detalhes a seguir.

3.2.1. Análise de variância

Análise de variância, ou ANOVA (do inglês, Analysis of variance), é uma maneira de estudar a média de populações e determinar se existe uma diferença significativa entre as médias, e consequentemente dos dados lidos pelos equipamentos. A variância é uma medida de dispersão que indica o tanto que os valores lidos se distanciam da média. Os resultados foram alocados na Tab. 1 e na Tab. 2.

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
1º estágio (Datalogger)	148	11547,2	78,02162162	99,02905313		
1º estágio (Arduino)	148	11509,05	77,76385135	109,7655966		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,916967905	1	4,916967905	0,047098601	0,82834163	3,873282557
Dentro dos grupos	30692,81352	294	104,3973249			
Total	30697,73048	295				

Tabela 1. Resultados da análise de variância para os sensores no 1º estágio.

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
2º estágio (Datalogger)	148	9029,8	61,01216216	57,85454495		
2º estágio (Arduino)	148	9093,69	61,44385135	120,6394919		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	13,79031115	1	13,79031115	0,154518452	0,694539106	3,873282557
Dentro dos grupos	26238,62341	294	89,24701841			
Total	26252,41372	295				

Tabela 2. Resultados da análise de variância para os sensores no 2º estágio.

Utilizou-se o valor tradicional de $\alpha=0,05$ (5% de erro). Tanto no primeiro como no segundo estágio o valor-P (0,82834163 no 1º estágio e 0,694539106, no 2º estágio) foi bem maior que 0,05 e o valor de F foi bastante inferior ao F crítico, o que demonstra que as médias dos dados dos sensores são semelhantes. Observa-se uma melhor aproximação para os sensores do 1º estágio, o que era de se esperar tendo em vista os resultados dispostos no gráfico da Fig. 6.

3.2.2. Coeficiente de correlação e gráfico de dispersão

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1, de modo que para -1 tem-se uma perfeita correlação inversa e para 1 temos uma perfeita correlação direta. Valores próximos de 0 indicam fraca correlação, provavelmente com a presença de outros fatores influentes no resultado. Neste trabalho, calculou-se a correlação entre os sensores em cada estágio, alocando os resultados na Tab. 3.

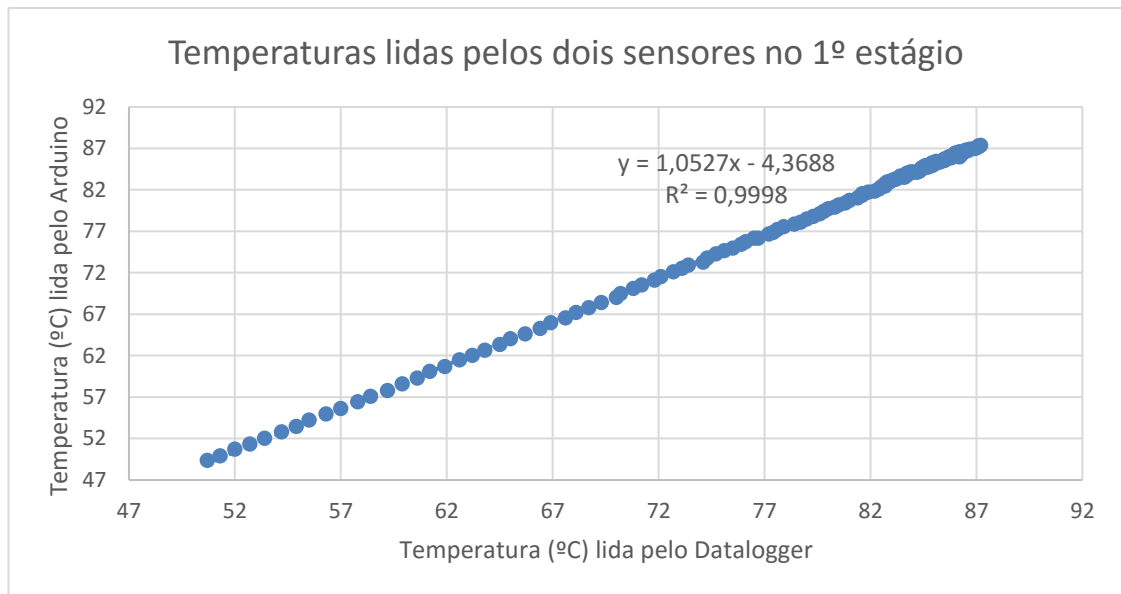


Figura 7. Gráfico x-y com as temperaturas lidas pelos dois sensores do 1º estágio.

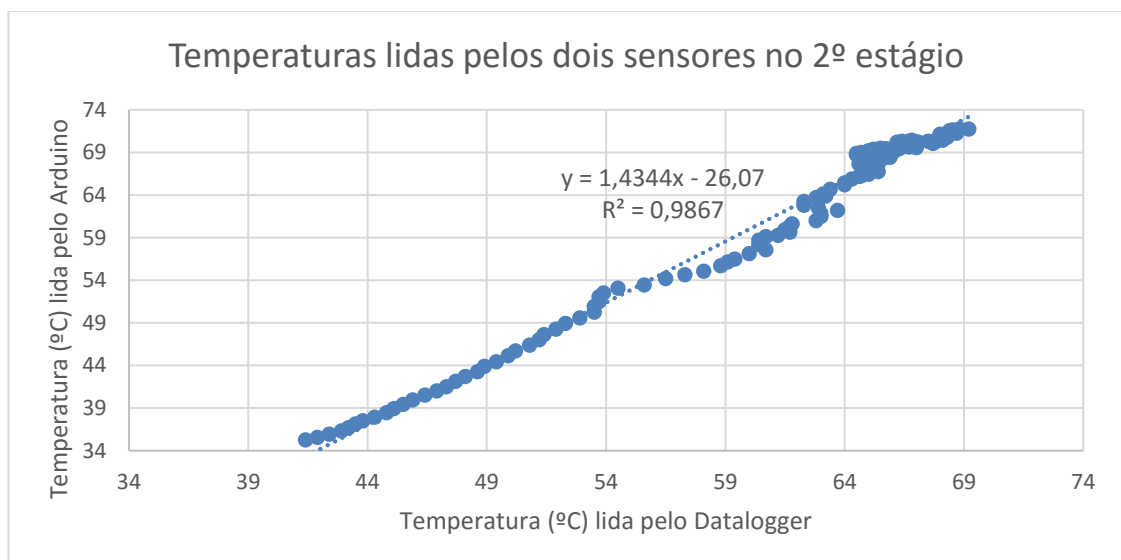


Figura 8. Gráfico x-y com as temperaturas lidas pelos dois sensores do 2º estágio.

	Coeficiente de correlação (R)
1º estágio	0,999882465
2º estágio	0,993308419

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os sensores.

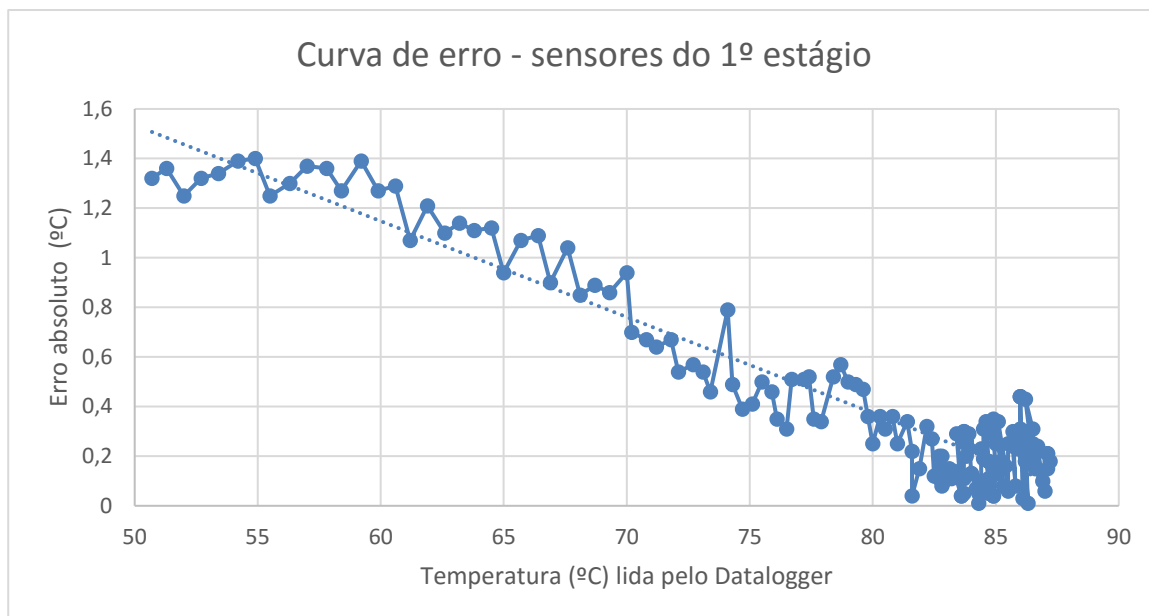


Figura 9. Gráfico do erro absoluto das temperaturas lidas pelo sensor DS18B20 no 1º estágio.

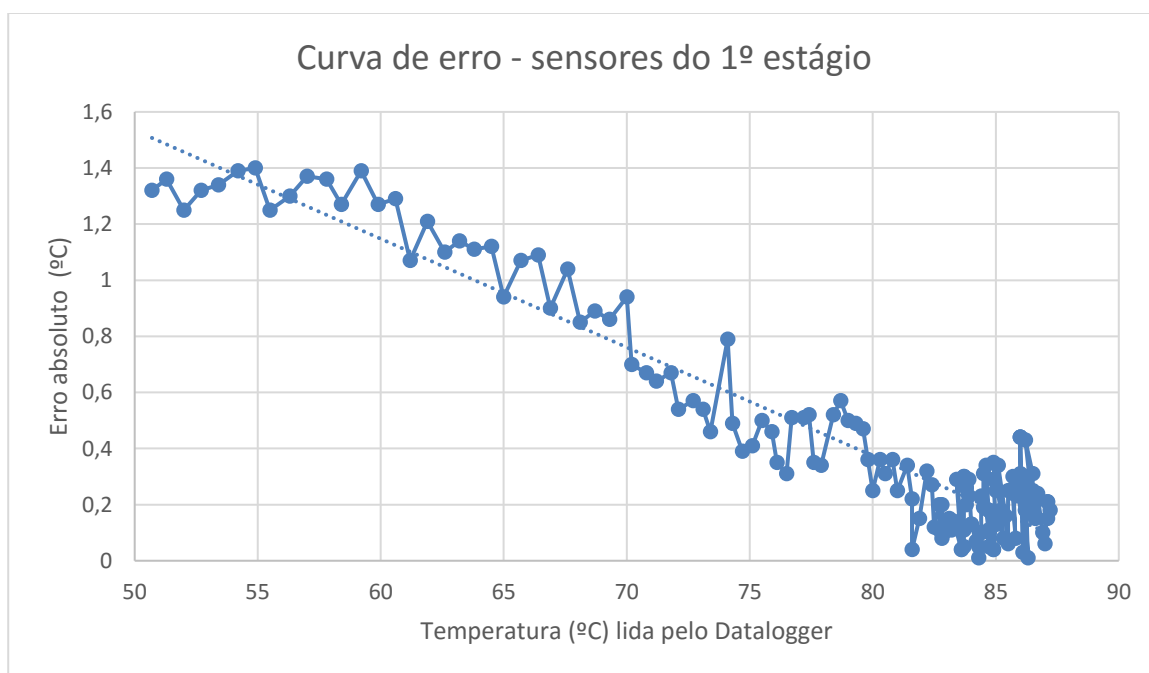


Figura 10. Gráfico do erro absoluto das temperaturas lidas pelo sensor DS18B20 no 1º estágio.

3.3. Custo e comparação com o preço de mercado

Calculou-se o orçamento dos dois dispositivos para efeitos comparativos. O custo total dos componentes deste trabalho foi conferido na loja virtual HU Infinito e, contando com o frete, é cerca de R\$ 450,00. É válido ressaltar que foi contabilizado o custo de um Arduino UNO original, mas para fins de diminuição de despesas é possível encontrar placas microcontroladoras genéricas semelhantes e de qualidade, haja vista que a placa microcontroladora Arduino é *open hardware* e pode ser fabricada por outros. Já o custo total de um registrador de dados da Ômega, com configurações semelhantes, foi conferido no site da marca com o valor de cerca de R\$ 2300. Sendo assim, o *datalogger* de Arduino custa cerca de 80% menos.

4. CONCLUSÃO

De forma simples e barata, um *datalogger* de temperatura foi construído utilizando essencialmente um Arduino UNO, um módulo SD, um módulo RTC, sensores de temperatura e materiais de eletrônica. O protótipo se apresenta como uma opção promissora para registros de dados hoje feitos por aparelhos de alto custo. A análise estatística concluiu que os resultados encontrados condizem com a realidade e são satisfatórios. No entanto, ainda existe uma série de melhorias, testes, calibrações e análises a serem realizados até que o *datalogger* de Arduino se prove confiável.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do LESGN pelo apoio dado, em especial aos amigos Eliezer Costa, Caio Crisóstomo Pereira, Tales Costa Barreto e Marília Brilhante, à FUNCAP pelo custeio desta pesquisa e ao Ministério da Educação e Cultura (MEC), pela cessão da bolsa do Programa de Educação Tutorial (PET).

6. REFERÊNCIAS

- Fuentes, M.; Vivar, M., Burgos, J.M., Aguilera, J., Vacas, J.A., 2014, "Design of an accurate, low-cost autonomous datalogger for PV system monitoring using Arduino™ that complies with IEC standards", Solar Energy Materials & Solar Cells, Espanha.
- Gad, H.E., 2014, "Development of a new temperature data acquisition system for solar energy applications", Renewable Energy, Egito, p. 337-343.
- HU Infinito Componentes Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.huinfinito.com.br/>> Acesso em 23 de abril de 2016.
- McRoberts, M., 2014, "Arduino Básico", 1ed, São Paulo, Novatec Editora.
- Morettin, P. A., Bussab, W. O., 2010, "Estatística Básica", 6ed. São Paulo, Saraiva.
- Omega, Disponível em: <<http://www.omega.com>> Acesso em 23 de abril de 2016.
- Pinheiro, F. N., 2015, "Experimental study of tray materials in a thermal desalination tower with controlled heat source", Desalination, Volume 374, p. 38-46.
- Teles Filho, E. P. et al., 2015, "Desenvolvimento de um datalogger de temperatura utilizando placa microcontroladora Arduino UNO para medição em um dessalinizador térmico", 22º Congresso Nacional dos Estudantes de Engenharia Mecânica, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DATA LOGGING AUTOMATION OF TEMPERATURE MEASUREMENT USING AN ARDUINO UNO BOARD APPLIED TO A THERMAL DESALINATOR

Eugênio Pacelli Teles Filho, eugenipacelli.tf@gmail.com¹

Paulo Alexandre Costa Rocha, paulo.rocha@ufc.br¹

Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹

Thiago Taketaro Guilherme Watanabe, taketaro@outlook.com¹

Abstract Systems with heat reuse require constant temperature measurements for data analysis and preparation of performance graphics. Although there are devices on the market that perform this function, they usually do not have an affordable price and they usually are difficult to maintain depending on its suppliers. Therefore, in this study conducted by the Solar Energy Laboratory and Natural Gas (LESGN), an electronic system with a microcontroller board Arduino UNO was made to obtain data of temperature and record it on a microSD card. This microcontroller is characterized by being a system of low cost and easy to maintain considering that uses C language, electronic components and free software, which are accessible resources to students. A thermal desalination unit coupled to a solar cooker was used to this project. To measure the temperatures of the stages, they used five waterproof digital sensors DS18B20 with a resolution of 0.06 °C that demand only one Arduino port for reading all sensors, which were welded to a perforated printed circuit board. Temperature measurements are made in a two-minute period and the values are stored in a 4 GB memory card along with the time obtained from a real-time clock module (RTC), which also have a complete calendar. The tests were made in parallel with a calibrated standard datalogger and the data were plotted in a comparing graph. The analysis of variance and the correlation coefficient showed that the system proved itself quite promising, fulfilling the goals and costing at least 80% less than a datalogger with similar configurations of this work. Given these results, it is noteworthy that the project with the Arduino needs little calibration and more studies until it is proven reliable.

Keywords: Arduino, datalogger, temperature, thermal desalinators, statistical analysis.