



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

MEDIDOR DE TEMPO DE IRRADIAÇÃO SOLAR COM ARDUINO

Jonathan Barroso de Araújo, barroso26jonathan@gmail.com¹

Caio Crisóstomo Pereira, caiocrisostomp@gmail.com¹

Tales Costa Barreto, tales_b@hotmail.com¹

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

Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici

Resumo: A necessidade de calcular o tempo de irradiação solar surge com o aumento da aplicação da energia solar como fonte alternativa de energia. Recentemente, a aquisição de pequenas Usinas Solares, principalmente em Minas Gerais, tem crescido e a avaliação do custo-benefício pode ser feita através do tempo de irradiação solar local. O estudo, a longo prazo, permitirá a avaliação da quantidade média de horas de irradiação solar em determinadas épocas do ano em um certo local e assim, por exemplo, o consequente estudo da validade de instalar usinas solares nesse local. Neste projeto, decidiu-se pelo uso da tecnologia de prototipagem Arduino, uma vez que sua flexibilidade permitiu a criação de um Datalogger de baixo custo e que tem como objetivo principal a avaliação primária do potencial solar de uma região. A medição se dá por meio de LDR's (Light Dependent Resistor - Resistor dependente da luz, em português), no qual um se encontra sombreado e será utilizado como base em relação aos outros. Adicionou-se um Real Time Clock (RTC, relógio de tempo real, em português), de modo que a data e o horário da medição sejam armazenados juntamente com as características da incidência em um cartão microSD, que pode armazenar meses de dados. A coleta dos dados foi realizada na Universidade Federal do Ceará e os dados foram comparados aos dados obtidos por um piranomômetro calibrado do laboratório, a fim de avaliar a precisão do Datalogger. Com estes dados, torna-se possível a investigação e previsão de situações futuras em certos meses do ano, bem como estudos acerca de luminosidade local que podem ser utilizados em projetos de Usinas Solares.

Palavras-chave: Medidor de Tempo, Irradiação Solar, Energia, Arduino, Datalogger.

1. INTRODUÇÃO

Utilizar os recursos naturais da melhor maneira possível é uma realidade e uma demanda da sociedade. É muito comum na Europa, por exemplo, o uso de energia limpa, como aquecedores solares para a água e painéis fotovoltaicos para a geração de energia. O projeto teve como objetivo a construção de um sensor para o mapeamento do potencial solar de uma determinada região, baseando-se em sistemas já existentes. Esse estudo foi feito visando a aquisição de um banco de dados que contivesse as medições de cada um dos seis sensores, se obtiveram radiação direta, a hora e o dia da medição. A plataforma Arduino possui uma fácil programabilidade com linguagem C e C++, além de ser Open Source, o que possibilita uma troca de informações em torno do mundo e uma biblioteca ampla de trabalhos similares e/ou com a mesma finalidade. Além disso, possui uma IDE (Integrated Development Environment) de programação de alto nível, o que facilita a implementação do programa e verificação simultânea dos dados. Desse modo, a alteração do projeto se dá de maneira simples, uma vez que a simples troca de variáveis podem alterar, por exemplo, a frequência de aquisição de dados.

2. Metodologia

Construir um protótipo capaz de adquirir dados solares primários (usado para se ter uma ideia do potencial solar de uma região), de forma simples e barata, que também sirva para estudos posteriores e/ou aprimoramento de suas funções, utilizando-se de Arduino e das facilidades do Laboratório de Energia Solar e Gás Natural da Universidade Federal do Ceará.

Após realizados os testes necessários para verificação de funcionalidade e de confiança do aparelho pretende-se testar a aplicação de diferentes frequências para análise de responsividade do Datalogger.

2.1 Materiais

O desenvolvimento dos protótipos foi feito utilizando a plataforma Arduino juntamente com dispositivos periféricos. Tal plataforma possui um microcontrolador do tipo ATmega 328, juntamente com todos os dispositivos necessários para seu pleno funcionamento, necessitando apenas de um código para ser utilizado. Sensores foto-sensíveis foram utilizados juntamente com um pilar de sombreamento a fim de identificar o tipo de radiação. Um módulo SD foi utilizado para armazenar os dados coletados, os quais, juntamente com um RTC, puderam ser catalogados de acordo com a data e hora da medição.

2.2 Métodos

Inicialmente, criou-se um modelo testes para calibrar os LDR's e verificar seu funcionamento. O protótipo consistiu de sete LED's e de cinco LDR's. Cinco LED's vermelhos foram utilizados no teste de responsividade à luz dos LDR's, um outro foi utilizado para indicar radiação direta (quando ligado) e o último para mostrar se o dispositivo estava ligado ou não. O programa havia sido feito de maneira a acusar radiação difusa e, portanto, manter o LED desligado, caso dois ou mais LDR's apresentem leituras abaixo da média calculada durante um período de calibração. Ao próximo protótipo, adicionou-se o cartão microSD e o RTC de modo a permitir o armazenamento e tratamento de dados o que antes só era feito através da comunicação Serial disponibilizada no próprio software do Arduino. Ademais, alterou-se o esquema de posicionamento dos LDR's, colocando-os em formatação circular e incluindo um pilar no centro da circunferência. Assim, possibilitou-se a comparação direta entre o dado de um LDR que estaria sombreado pelo pilar posicionado no centro, o qual impediria a alta incidência luminosa apenas neste sensor, com os demais que estariam expostos ao meio sem interferências. A partir desses dados, o programa diferencia entre condições de sombra e de céu claro, ou seja, com e sem nuvem, e em seguida armazena a leitura no cartão microSD juntamente com a data da medição.

A fim de manter todos os LDR's e componentes bem organizados e fixos, utilizou-se uma placa fenolite para soldar os componentes, seguindo o esquema apresentado na Fig. 1.

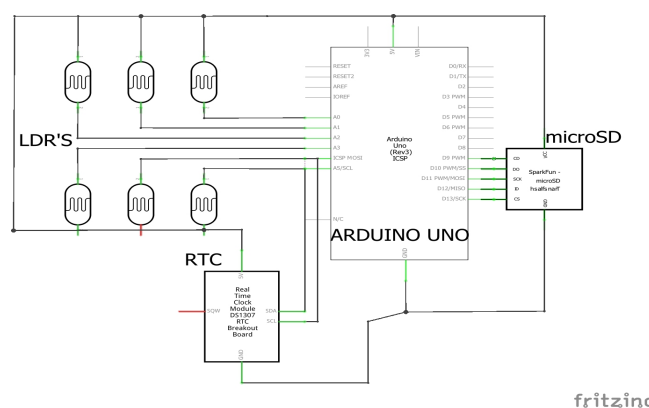


Figura 1: Esquema ilustrativo do circuito definitivo.

O circuito então foi testado e, após avaliada sua funcionalidade, utilizou-se de dados empíricos das leituras dos LDR's para criar uma lógica de programação para verificar o tipo de irradiação em horários críticos nos quais o pilar não sombreia praticamente nenhum LDR. O circuito então foi testado e, após avaliada sua funcionalidade, utilizou-se de dados empíricos das leituras dos LDR's para criar uma lógica de programação que verifica o tipo de irradiação em horários críticos nos quais o pilar não sombreia praticamente nenhum LDR, entre 11:00 e 13:00. Ressalta-se que o aparelho foi concebido e testado nos intermédios da Universidade Federal de Ceará, a qual localiza-se relativamente próxima à linha do equador. Uma vez que surja a necessidade de medição em um local afastado da linha do equador, é necessária nova calibração empírica no dado local.

Após construído o protótipo final, verificou-se a necessidade de manter coletas prolongadas e com isso a urgência de um case que o mantivesse seguro quando colocado em ambientes externos. Desse modo, projetou-se uma caixa transparente com dimensões muito maiores que o do protótipo. No entanto, devido ao alto custo de produção da case optou-se por uma caixa de plástico alternativa e mais barata com dimensões próximas às do projeto inicial. Adicionou-se à caixa dois coolers para fins de resfriamento dos componentes internos do sistema, devido as altas temperaturas proporcionadas pela constante exposição do aparelho ao sol, um de admissão e outro de exaustão de modo a facilitar a circulação de ar dentro da caixa e, consequentemente, a troca de calor por convecção dos componentes internos.

A Fig. 3 mostra o modelo completo já posicionado no centro da caixa, com os dois coolers implementados e vedados além de ter os fios fixos com fita isolante para evitar sombras indesejadas aos LDR's. Desse modo, com uma tampa transparente para proteção contra chuva, todas as coletas foram realizadas nos limites do laboratório e os dados puderam ser avaliados.

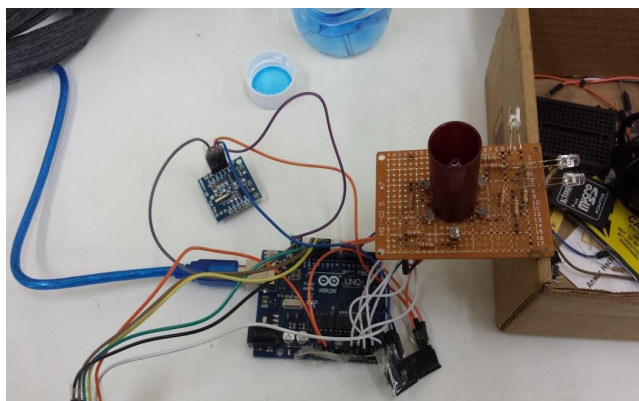


Figura 2: **Modelo completo sem medição.**

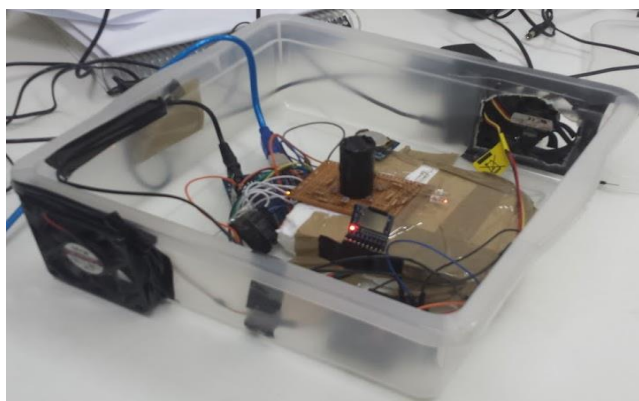


Figura 3: **Modelo completo dentro da case.**

2.3 Resultados e Discussão

O circuito passou por testes preliminares para avaliar o critério de incremento do tempo de nuvem ou não-nuvem. O critério de sombreamento funcionou perfeitamente, de forma que quando dois sensores se encontram sombreados e os demais irradiados por luz, com uma medição maior do que 100 (para prevenir incrementos à noite) o contador de radiação direta sofre incremento. A Fig. 4 mostra a luz indicativa de radiação direta ligada quando um objeto é posicionado de forma a fazer sombra nos dois sensores inferiores. Embora nesta hora não haja sol, o programa interpreta como tal, devido à diferença de medição entre os sensores.

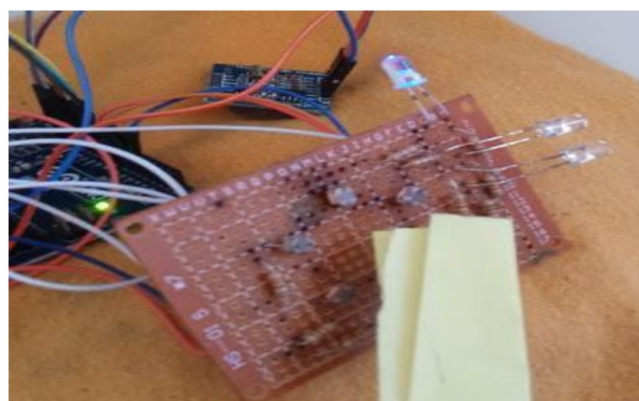


Figura 4: **Sombreamento de teste preliminar.**

A Fig. 5 mostra o formato de saída dos dados, um documento de texto contendo o contador de radiação direta, difusa, data e hora, sendo ele muito simples e leve em armazenamento, permitindo vários dias de medição.

A coleta foi realizada no terraço de um dos blocos do Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN) da Universidade Federal do Ceará.

Nesse mesmo bloco se localizam os demais sensores, como o piranômetro e pireliômetro e outros protótipos educacionais. Portanto, a medição solar foi feita com os dois sensores exatamente na mesma região, de forma a minimizar

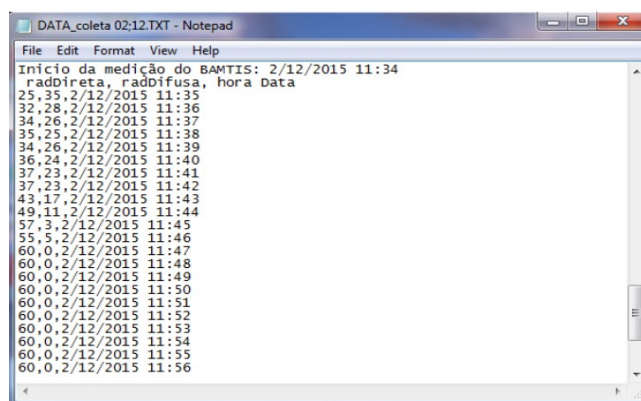


Figura 5: Modelo de saída de teste preliminar.

quaisquer efeitos regionais. Ao realizar o primeiro teste in loco do experimento um problema foi detectado, ao submeter o aparato a alta luminosidade, o erro fazia com que o Módulo DS1307 parasse de ser reconhecido pela placa Arduino UNO. Foram feitos testes para isolar o problema, partindo do princípio de que acontecia devido à temperatura. Entretanto, após mais testes o problema foi associado a sobrecarga da placa Arduino UNO em virtude dos vários periféricos e da tensão relativamente alta que os LDRs enviavam quando submetidas ao sol. Dessa forma, a placa Arduino MEGA 2560 R3 foi utilizada para substituir a UNO, o que solucionou o problema. O arranjo final, reproduzido na Fig. 6, é praticamente o mesmo, assim como o programa, só mudando, portanto, a pinagem definida anteriormente.

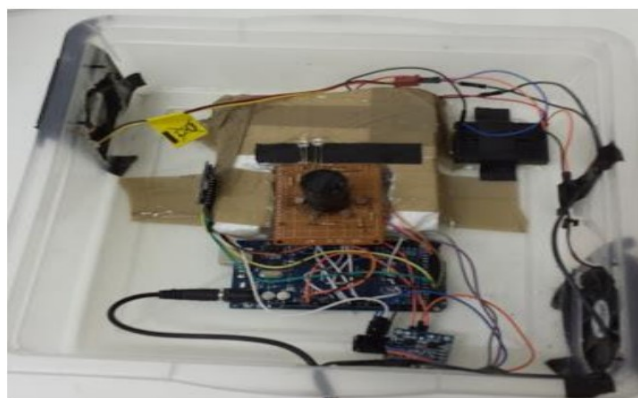


Figura 6: Modelo final com Arduino MEGA.

A validação do MTIS foi realizada a partir do momento em que a programação e os componentes do sistema Arduino funcionaram corretamente, e obtiveram dados coerentes quando comparados aos registros adquiridos por um pireliômetro horizontal. A comparação se deu através da coleta de dados ao longo de alguns dias do mês de dezembro de 2015. Foram escolhidas duas datas de medição para a análise comparativa dos resultados, 7 e 8 de dezembro, delimitando também o horário de amostras das 9:00 da manhã às 16:00. A comparação entre os registros do MTIS e do pireliômetro foi feita utilizando uma planilha eletrônica. Por se tratar de dois sensores que medem grandezas diferentes, no caso do pireliômetro radiação, e no caso do MTIS, sombreamento. O critério de comparação utilizado foi feito a partir da análise dos registros e determinação se cada um deles se trataria de um registro de “Nuvem” ou um registro de “Não Nuvem”, como será explicado a seguir. No caso do Pireliômetro: Como mostrado na Fig. 7 a coluna média são os registros brutos adquiridos do Datalogger. A coluna seguinte, a direita, é a Média do registro imediatamente a esquerda com N seguintes registros, sendo N definido pelo usuário da planilha. Nesse texto, embora contenha gráficos comparando o número de amostras como o Fig. 12 e Fig. 14, utilizou-se um N de 5 amostras, o que totaliza um intervalo de 10 minutos, ou seja, a média setorial é a média das amostras do horário de 09:08 até 09:18, por exemplo. Essa média setorial é, portanto, comparada com a amostra (Média) obedecendo a seguinte fórmula:

$$N < M.Setx(1 - K)$$

Caso a afirmação acima for verdadeira, considera-se que há a passagem de nuvem(Nuvem), caso seja falsa, não há passagem de nuvem (Não Nuvem). A variável K, na fórmula acima, é um valor percentual que representa o quanto um valor pode variar em comparação com a média para ser considerado Nuvem ou Não Nuvem. Embora haja, assim como para o número de amostras N, gráficos comparativos para os valores de K, como o Fig.13 e o Fig. 15, o valor adotado como padrão é o valor de K=20%. No caso do MTIS: A comparação utilizada foi mais simples, se o tempo de Sombra, representado por um total de 120 segundos por amostra, for maior que o tempo de Não sombra, considera-se Nuvem e

vice versa. Posteriormente, foi utilizada uma fórmula para contar o número de vezes em que os resultados de Nuvem ou Não Nuvem são iguais entre os dois sensores. Está, portanto, representado como OK e NOK na última coluna da direita na Fig. 7.

Data	Hora	Pireliômetro - CH5			MTIS - Média 2 minutos			Comparação
		Média (W/m2)	Méd. Setorial (W/m2)	Nuvem ou Não	Não Sombra (s)	Sombra (s)	Nuvem ou Não	
08.12.15	09:08:00	485	647,8333333	Nuvem	37	83	Nuvem	OK
08.12.15	09:10:00	518	598,8333333	Nuvem	64	56	Não Nuvem	NOK
08.12.15	09:12:00	691	610,6666667	Não Nuvem	85	35	Não Nuvem	OK
08.12.15	09:14:00	821	640,8333333	Não Nuvem	106	14	Não Nuvem	OK
08.12.15	09:16:00	578	648,1666667	Não Nuvem	120	0	Não Nuvem	OK
08.12.15	09:18:00	794	683,5	Não Nuvem	28	92	Nuvem	NOK
08.12.15	09:20:00	191	616,8333333	Nuvem	99	21	Não Nuvem	NOK
08.12.15	09:22:00	589	724,3333333	Não Nuvem	113	7	Não Nuvem	OK

Figura 7: Tabela de resultados de exemplos.

A partir dos critérios Nuvem e Não Nuvem, cada um dos quatro casos possíveis foram contados a partir de uma fórmula, dividindo a última coluna em quadrantes, como mostrado na Fig. 7. Essa soma foi utilizada para a construção das matrizes de confusão de ocorrências, como na Fig. 8. Posteriormente, as matrizes de confusão foram colocadas na forma percentual, como na Fig. 9 e Fig. 10, sendo uma para cada dia escolhido de medição.

Data	Hora	Pireliômetro - CH5	5 - Média 2 min	Comparação	Matriz de Confusão
08.12.15	hh.mm.ss	Nuvem ou Não - CH5	Nuvem ou Não	Acertos - OK	Cont. Quadrantes
07.12.15	09:00:00	Não Nuvem	Não Nuvem	OK	4
07.12.15	09:02:00	Não Nuvem	Nuvem	NOK	3
07.12.15	09:04:00	Não Nuvem	Nuvem	NOK	3
07.12.15	09:06:00	Não Nuvem	Nuvem	NOK	3
07.12.15	09:08:00	Nuvem	Nuvem	OK	1
07.12.15	09:10:00	Não Nuvem	Não Nuvem	OK	4
07.12.15	09:12:00	Não Nuvem	Não Nuvem	OK	4
07.12.15	09:14:00	Não Nuvem	Não Nuvem	OK	4
07.12.15	09:16:00	Não Nuvem	Não Nuvem	OK	4
07.12.15	09:18:00	Nuvem	Não Nuvem	NOK	2
07.12.15	09:20:00	Não Nuvem	Nuvem	NOK	3
07.12.15	09:22:00	Não Nuvem	Nuvem	NOK	3

Figura 8: Tabela de confecção da matriz de confusão.

Matriz de Confusão (Ocorrências)			
		MTIS	
		Nuvem	Não Nuvem
PiroH	Nuvem	11	25
	Não Nuvem	42	129

Figura 9: Matriz de confusão de ocorrências.

Matriz de Confusão % (07/12/2015)			
	MTIS		
		Nuvem	Não Nuvem
Piroheliômetro	Nuvem	8,9%	4,4%
	Não Nuvem	22,2%	64,4%
Acerto	73,33%		

Figura 10: Matriz de confusão de 07/12/2015.

Matriz de Confusão % (08/12/2015)			
	MTIS		
		Nuvem	Não Nuvem
Piroheliômetro	Nuvem	5,3%	12,1%
	Não Nuvem	20,3%	62,3%
Acerto	67,63%		

Figura 11: Matriz de confusão 08/12/2015.

Baseado na análise de ambas as matrizes, pode-se calcular a média de acertos geral, que engloba os dois dias de análise, sendo ela de 70,48%. Gráficos foram feitos com o objetivo de mensurar o impacto de aumentar ou diminuir o número de amostras (N) da média setorial, bem como o K (relacionado a diminuição de valor relativo entre amostras). O utilizado para a confecção deles, foi basicamente alterar os valores na planilha, onde a célula alterada tinha uma ligação direta com as células de resultado. Os gráficos estão representados por dia, sendo as Fig. 12 e Fig. 13 referentes ao dia 07/12, e as Fig. 14 e Fig. 15 referentes ao dia 08/12.

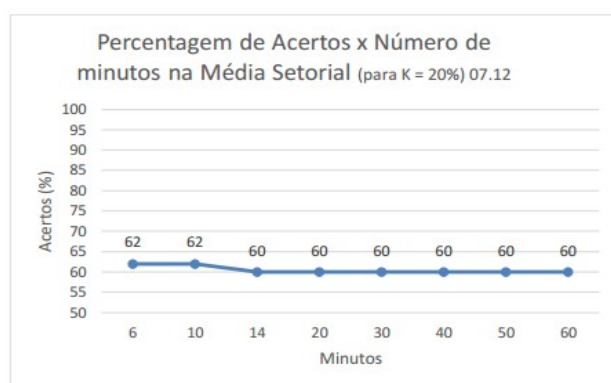


Figura 12: Gráfico de Acertos x Minutos na média setorial 07/12/2015

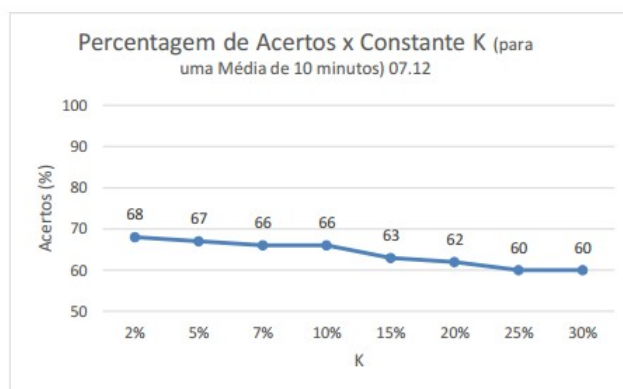


Figura 13: Gráfico de Acertos x Constante K 07/12/2015

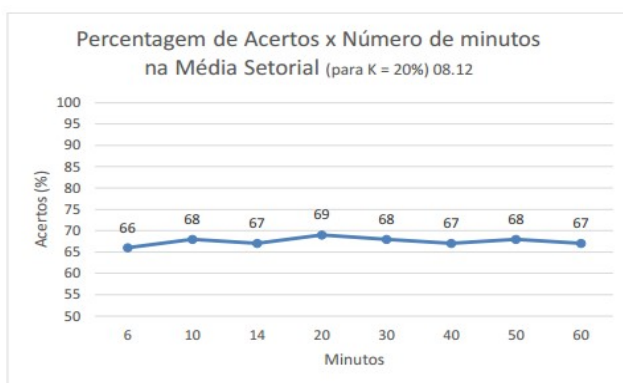


Figura 14: Gráfico de Acertos X Minutos na média setorial 08/12/2015

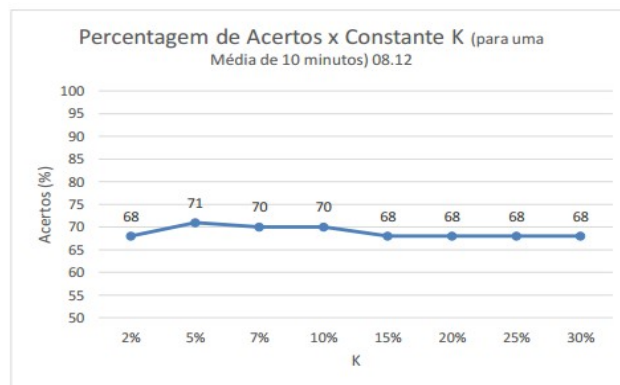


Figura 15: Gráfico de Acertos X Constante K 08/12/2015

Como se pode ver pela análise dos gráficos, o valor percentual de acerto varia pouco com relação a ambas as variáveis nas Fig. 12, Fig. 14 e Fig. 15. Já na Fig. 13 há uma maior variação do Acerto com a variação de K, devido o dia todo ter tido uma forte irradiação solar, sem muitas oscilações (baixa variância). No geral, considera-se plausível o uso de $K = 20\%$ e uma média setorial de $N = 5$ amostras, que equivalem a 10 minutos de medição.

2.4 Conclusão

Este trabalho atingiu suas diretrizes iniciais e também as específicas, demonstrou que a construção e desenvolvimento de um medidor do tempo de irradiação solar na plataforma Arduino é viável e funcional. Além de ser simples e relativamente fácil de usar, após certo estudo, seus componentes de hardware podem ser encontrados em diversas lojas, físicas ou online, ao redor do mundo. O software Open Source, usado na programação, faz toda a diferença no desenvolvimento dos sistemas que são utilizados com Arduino e com intenção de ter economia nos projetos. A linguagem Open Source usada no Arduino é uma linguagem de programação de alto nível, o que possibilita uma programação muito mais fácil do que se utilizasse, por exemplo, um microcontrolador PIC, que demanda um conhecimento bem mais aprofundado de C/C++. Embora os PIC sejam muito comuns na engenharia, o Arduino vem sendo cada vez mais utilizado nas escolas de

engenharia e indústria em geral, justamente devido a sua praticidade. O protótipo final foi desenvolvido com o objetivo de fazer uma medição preliminar precisa de dados solares e de se tornar um material didático útil, que mostra a relação do sombreamento dos sensores, com a radiação direta. Poderia ser um exemplo utilizável em uma aula de instrumentação, por exemplo. Os dados coletados através dos sensores LDRs foram exportados para o micro SD. Posteriormente, foram analisados em um computador, e comparados com os dados de um Pireliômetro horizontal. A comparação atestou o funcionamento do sensor, que obteve um percentual de acerto geral de 70,48%. Matrizes de confusão foram feitas mostrando o percentual de ocorrência de cada uma das quatro probabilidades de acerto e erro, bem como gráficos mostrando o comportamento do acerto com a variação do número de amostras para a média setorial (N) e o coeficiente relativo a variação nas amostras (K).

3. AGRADECIMENTOS

À nossas famílias que sempre nos suportaram e apoiaram ao longo de todo o curso e trajeto. Aos nossos colegas e amigos, que estão presentes no nosso dia-a-dia e que facilitam a sobreposição de alguns obstáculos. Ao PET Engenharia Mecânica pela disponibilidade da bolsa, cedida pelo MEC, e pelo incentivo à pesquisa dentro da Universidade. Ao Laboratório de Energia Solar e Gás Natural pela infraestrutura como local de pesquisa e estudo.

4. REFERÊNCIAS

- 2012, S. B. Sunshine recorders – an overview. Measuring Weather, 2012. Disponível em: <<http://measuringtheweather.com/wp-content/uploads/2012/06/An-overview-of-sunshine-recorders-July-2012.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2015.
- ALVES, A. R.; VIANELLO, R. L. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 2013. 460 p.
- ARDUINO. The Arduino Playground, 2014. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/>>. Acesso em: 5 out. 2015.
- ARDUINO. Arduino & Genuino products. arduino, 04 set. 2015. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>>.
- BANZI, M.; CANDUCCI, E.; WALLACE, S. Primeiros passos com o Arduino. 1ª. ed. São Paulo: Novatec, 2011. 152 p.
- ELETRÔNICA Didática. Protoboard, 2014. Disponível em: <<http://www.eletronicadidatica.com.br/protoboard.html>>. Acesso em: 17 nov. 2015.
- INSTROMET. Stand Alone Sun Duration Sensor. Instromet - Weather Monitoring Specialists, 2015. Disponível em: <<http://www.instromet.co.uk/SunshineSensor.html>>. Acesso em: 02 out. 2015.
- KIPP & ZONEN. CSD 3 Sunshine Duration Sensor. Kipp & Zonen. Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/Product/35/CSD-3-Sunshine-Duration-Sensor#.VjyULPIViko>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- UFMS. Introdução ao Arduino, 2012. Disponível em: <http://destacom.ufms.br/mediawiki/images/9/9f/Arduino_Destacom.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.
- ULISBOA. Radiação. Ciências ULisboa. Disponível em: <<http://www.fc.ul.pt/pt/pagina/8485/radia%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 16 set. 2015.
- VILLANUEVA, J. C. Radiation from the sun. Universe Today, 2010. Disponível em: <<http://www.universetoday.com/60065/radiation-from-the-sun/>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- WATSON, D. E. Direct, Diffuse and Reflected Radiation. FT Exploring, 2011. Disponível em: <<http://www.ftexploring.com/solar-energy/direct-and-diffuse-radiation.htm>>.

5. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SOLAR IRRADIATION TIME MEASURER WITH ARDUINO

Jonathan Barroso de Araújo, barroso26jonathan@gmail.com¹

Caio Crisóstomo Pereira, caiocrisostomp@gmail.com¹

Tales Costa Barreto, tales_b@hotmail.com¹

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

Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici

Abstract: *The necessity of calculating the solar irradiation time comes with the increasing application of Solar Energy as an alternative source of energy. Recently the acquisition of small scale Solar Power Plants, has grown and the cost-benefit evaluation can be made through the local Solar irradiation time. The study, in long term, will allow the evaluation of the average quantity of solar hours in a certain period of the year in a specific place and then, for example, the consequent validity study of installing a Solar Power Plant in the place. In this project, the prototyping Arduino technology was used due to its flexibility and low cost, which allowed its creation and that has as main objective the primal evaluation of the solar potential of a region. The measurement is made through LDR's (Light Dependent Resistor), in which one is under shadow and will be utilized as a reference by the others. A RTC (Real Time Clock) was added in order to save the hour and day of the measurement alongside with the characteristics of the radiation in a microSD card, that can store months of data. The data measurement was made inside the Universidade Federal do Ceará's Campus and the data was compared with the obtained data from a calibrated pyranometer from the lab, in way to evaluate the data logger precision. With this kind of data, it is possible to investigate and to predict the future situation in certain months of the year, as well as studies around local luminosity that might be utilized in Power Plants projects.*

Palavras-chave: *Time measurer, Solar Irradiation, Energy, Arduino, Datalogger.*