

**DESENVOLVIMENTO DE DATALOGGER DE BAIXO
CUSTO PARA MEDIDA DE DADOS AMBIENTAIS**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Dimitri Fernandes Camilo de Lima (UFRN, Bolsista
PIBIC/CNPq)

Email: dimitrilimac@gmail.com

João Gualberto de Cerqueira Junior (INPE, Orientador)

E-mail: joao.cerqueira@inpe.br

Julho/2018

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2017, tem como objetivo a continuidade ao projeto de Iniciação Científica em andamento desde 2016, para o desenvolvimento de um datalogger acoplado a sensores ambientais. O equipamento será usado em projeto de monitoramento do bioma caatinga em área preservada e em recuperação, da qual serão efetuadas medidas de umidade e temperatura do solo e do ar. O equipamento deverá ter baixo custo e consumo de energia, além de permitir leituras com uma boa precisão, sendo assim uma alternativa frente a soluções existentes no mercado que geralmente possuem um custo elevado. Inicialmente, o trabalho realizado em 2016 tratou do desenvolvimento do protótipo do sistema em protoboard, testando a comunicação entre o microcontrolador e os sensores utilizados no sistema. O trabalho atual busca finalizar a construção do datalogger, acondicionando as placas eletrônicas em caixas plásticas, criando-se assim um protótipo pronto para o trabalho em campo.

Palavras-chave: Datalogger; Baixo custo; Dados ambientais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de casos de uso do sistema desenvolvido.

Figura 2: Design da PCI realizado no software Eagle.

Figura 3: PCI montada.

Figura 4: Detalhe de um dos protótipos montados.

Figura 5: Disposição física dos protótipos montados em um ambiente de sombreamento parcial.

Figura 6: Máquina de estados do código desenvolvido para o Datalogger.

Figura 7: Sensores com hastes modificadas – à esquerda – e sensor com haste original – à direita.

Figura 8: Montagem do experimento de temperatura.

Figura 9: Testes comparativos entre Dataloggers.

Figura 10: Gráfico que relaciona a tensão nas baterias dos dois sistemas e o horário do dia.

Figura 11: Gráfico que relaciona a umidade percentual da amostra com o valor de tensão digitalizado entre 0 e 1024. Sensor de haste grande.

Figura 12: Gráfico que relaciona a umidade percentual da amostra com o valor de tensão digitalizado entre 0 e 1024. Sensor de haste pequena.

Figura 13: Gráfico que relaciona as temperaturas lidas pelos sensores com a temperatura na câmara térmica.

Figura 14: Gráfico que relaciona os erros absolutos das temperaturas lidas pelos sensores com a temperatura na câmara térmica.

Figura 15: Gráfico que relaciona os valores de temperatura do ar lidos pelos dois sistemas.

Figura 16: Gráfico que relaciona os valores de umidade do ar lidos pelos dois sistemas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS	8
4.1. Concepção do sistema	8
4.2. Hardware	9
4.2.1. Placa de circuito impresso	9
4.3. Sistema de energia	10
4.4. Software	11
4.5. Sensores	13
4.5.1. Sensores de umidade do solo	13
4.5.2. Sensores de temperatura	14
4.6. Testes comparativos com um datalogger DAVIS	15
5. ANÁLISES E RESULTADOS	17
5.1. Sistema de energia	17
5.2. Sensores	17
5.2.1. Sensores de umidade do solo	17
5.2.2. Sensores de temperatura	19
5.3. Comparação com datalogger DAVIS	20
6. CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1. INTRODUÇÃO

A caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, ocupando cerca de 850 mil km² (aproximadamente 10% do território nacional), é o mais fragilizado dos biomas brasileiros.

O desenvolvimento de um datalogger é voltado para a coleta de dados do solo e do ar em uma área de caatinga preservada e em recuperação, no qual serão medidas a umidade e temperatura do solo e temperatura e umidade do ar. O sensor de umidade do solo é formado por duas hastes metálicas que funcionam como um transdutor, que irão se comportar como um resistor variável. Quanto maior o nível de água existente na terra, maior será a condutividade entre as hastes e menor será a resistência entre os elementos condutivos - consequentemente, menor a tensão nos terminais do sensor.

Para obter-se valores de umidade do solo coerentes é necessária que ocorra a calibração dos sensores utilizados. O método utilizado na calibração desse transdutor é o método gravimétrico. O método baseia-se na medida da diferença de peso, usando-se balança de precisão para pesagem da amostra seca e úmida. O propósito desse procedimento experimental foi a identificação da relação entre os níveis de tensão fornecidos pelo transdutor e os valores de umidade relacionados.

O datalogger para a coleta e armazenamento de dados foi desenvolvido usando a plataforma Arduino, que utiliza o microcontrolador ATMEGA.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do trabalho desenvolvido foi a produção de um Datalogger de baixo custo para ser utilizado na área de pesquisa. Além disso, outros objetivos foram alcançados durante o trabalho:

- Compreensão do funcionamento dos sensores utilizados no dispositivo;
- Teste de funcionamento dos sensores;
- Montagem de placas de circuito impresso;
- Diminuição do consumo do sistema;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um datalogger é um dispositivo eletrônico que grava dados em relação ao tempo, se utilizando de sensores e instrumentos. Dentre suas diversas aplicações, sua utilização no campo da pesquisa é bastante importante, pois permite a obtenção de uma grande quantidade de dados para análise, dentre eles: Temperatura, PH a água, nível de água, entre outros. Em geral, estes dispositivos geralmente são baseados em microprocessadores e equipados com memória interna para o armazenamento de variáveis.

Neste trabalho, a plataforma Arduino foi escolhida por ser de simples manipulação – agilizando o processo de prototipagem do sistema. Esta plataforma se utiliza de uma interface amigável e de uma simplificação dos comandos para se programar um microcontrolador ATMEGA. Existem vários tipos de Arduino, mas neste trabalho utilizou-se o Arduino UNO.

Além do Arduino, alguns sensores e instrumentos foram utilizados para a realização do datalogger de baixo custo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Concepção do sistema

A concepção do datalogger foi realizada tendo em vista o contexto de utilização do dispositivo. O usuário do sistema deve ser capaz de retirar as informações de forma rápida, ter a possibilidade de trocar sensores eventualmente defeituosos e ter alguma indicação visual que confirme o funcionamento do Datalogger. Um diagrama de casos de uso do sistema é mostrado na Figura 1 com o objetivo de se registrar as funcionalidades do sistema do ponto de vista do usuário.

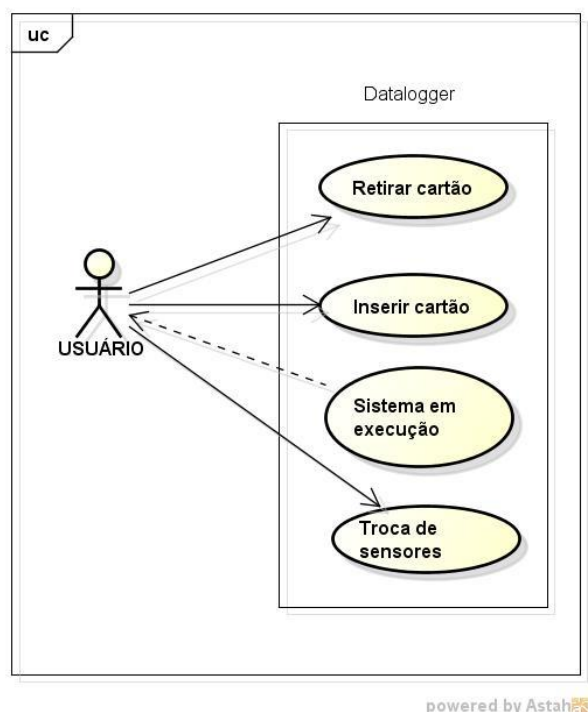


Figura 1: Diagrama de casos de uso do sistema desenvolvido.

A interação com o sistema se dá por meio de um botão e dois LEDs.

- Um LED verde acende sempre que houver gravação de dados dos sensores no cartão SD para indicar que o sistema está em execução.
- O usuário pode pressionar um botão para que o sistema entre em pausa. Nesse estado, um LED vermelho permanece aceso - enquanto o LED verde apaga - para indicar que não há gravação de dados. Assim, o usuário pode retirar o cartão SD ou trocar os sensores sem danificar o sistema.
- Para que o sistema retorne ao estado de gravação, o usuário deve inserir o cartão com o sistema em pausa e pressionar o botão novamente. Assim, o LED vermelho

apaga e o LED verde acende por um instante, mostrando que o sistema está em execução.

4.2. Hardware

Após o desenvolvimento da ideia de como o sistema iria funcionar, foi definido como o sistema seria construído. Foram escolhidos módulos que, conectados ao Arduino, formariam o sistema, realizando a gravação dos dados dos sensores.

Foram realizados testes individuais para a compreensão do funcionamento de cada módulo de forma separada. Finalmente, um primeiro protótipo do sistema foi montado em protoboard, a partir do qual todos os testes de funcionamento do sistema foram realizados. O resultado destes testes foi a concepção do software a ser embarcado no arduino, bem como a montagem de uma lista com todos os componentes presentes no sistema final.

4.2.1. Placa de circuito impresso

Após o desenvolvimento do protótipo do sistema em protoboard, foi realizada a produção de uma placa de circuito impresso (PCI) no laboratório de prototipagem do INPE - CRN. Esta placa é conectada ao Arduino com o intuito de facilitar a manutenção e operação do datalogger. O software Eagle foi utilizado para se realizar o desenho desta PCI e o seu design é mostrado na Figura 2.

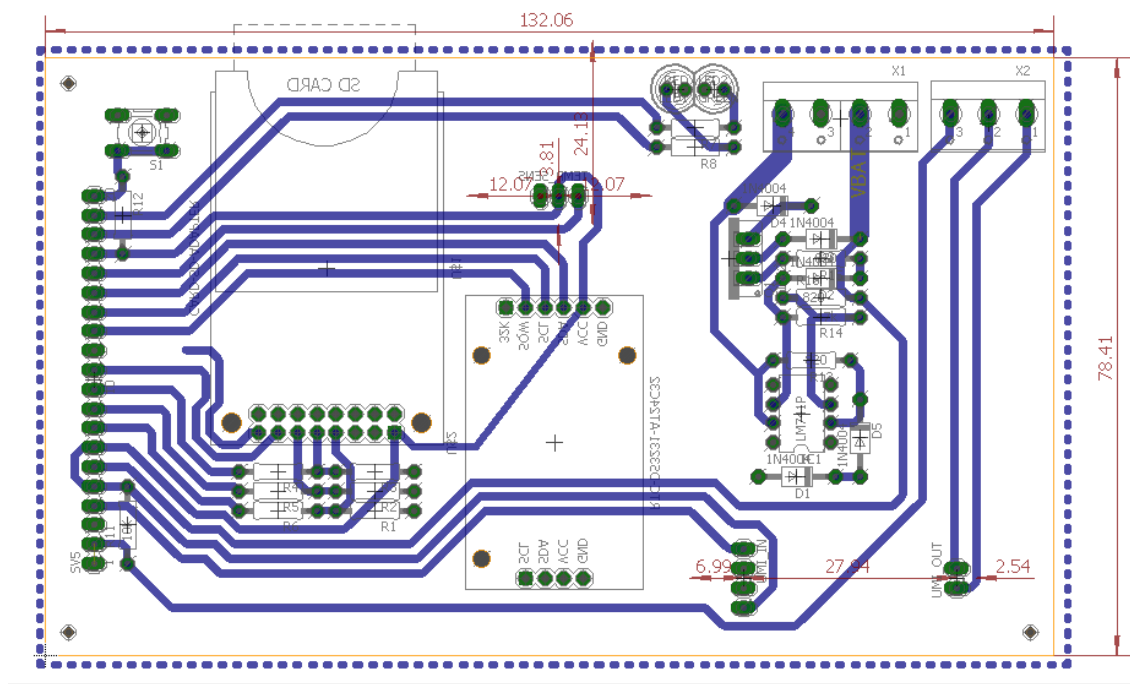


Figura 2: Design da PCI realizado no software Eagle.

Uma vez que esta placa estará dentro de uma caixa, é importante que os elementos estejam posicionados de forma a tornar a utilização do sistema prática. A barra de pinos da esquerda é utilizada para fazer a conexão com o Arduino. Percebe-se que todos os módulos que são manipulados pelo usuário estão posicionados na parte de cima da PCI, de forma a facilitar o acesso a estes.

A Figura 3 mostra uma das versões de teste da PCI após a soldagem de componentes e conexão com o Arduino.

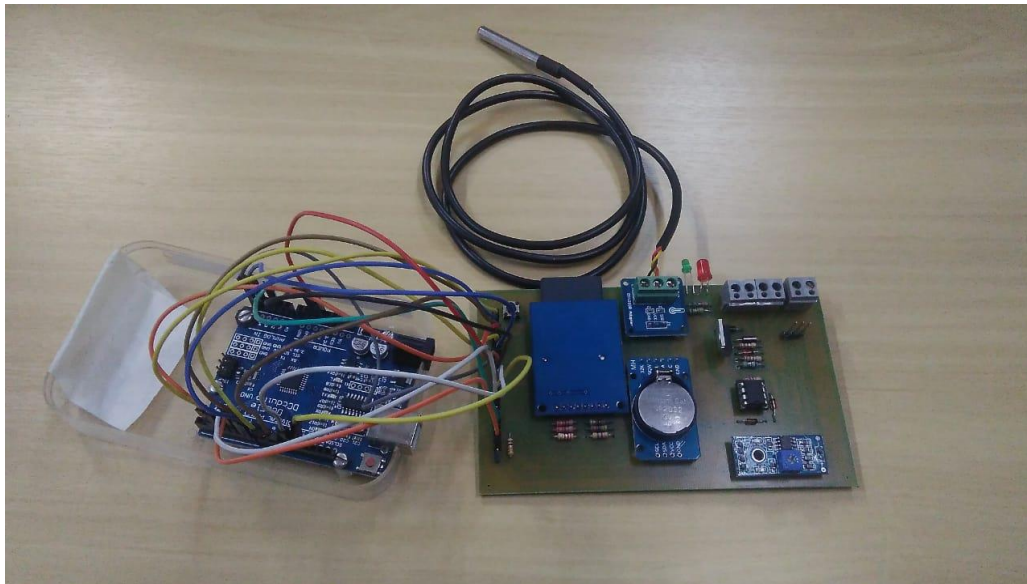


Figura 3: PCI montada.

4.3. Sistema de energia

Com o intuito de calcular a demanda energética do sistema e quão robusto o sistema de alimentação precisava ser, dois protótipos foram montados - apenas valores de tensão de alimentação eram registrados no cartão SD, sem considerar o uso de sensores. As Figuras 04 e 05 mostram a disposição dos dois protótipos montados. Um protótipo usou um painel solar de potência maior e uma bateria de 12 volts e capacidade de 7 Ah, enquanto o outro protótipo usou um painel de potência menor e bateria de 12 volts e capacidade de 5 Ah.



Figura 4: Detalhe de um dos protótipos montados.



Figura 5: Disposição física dos protótipos montados em um ambiente de sombreamento parcial.

Os dados gravados pelos dois protótipos foram tabelados e comparados graficamente, como será mostrado na seção 5.1.

4.4. Software

De forma paralela ao desenvolvimento do hardware, foi realizado o desenvolvimento do software do sistema. O sistema, como descrito anteriormente, deveria funcionar em dois estados distintos, controlados por um botão:

- Estado de pausa: Nesse estado, não existiria gravação de dados e modificações poderiam ser realizadas no sistema, como retirar o cartão e trocar sensores.
- Estado de gravação: Nesse estado, o sistema estaria gravando dados e modificações não poderiam ser realizadas com risco de danificar o cartão SD.

Com essas condições de contorno, o código foi desenvolvido. A máquina de estados representada na Figura 6 descreve o funcionamento simplificado do programa.

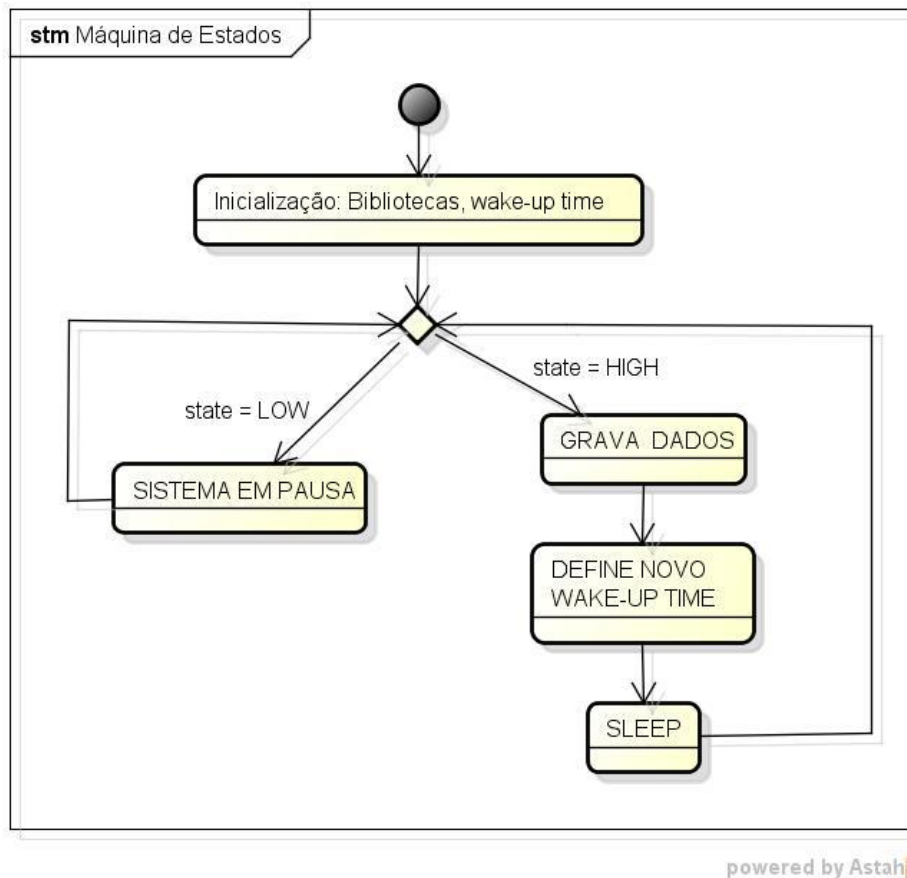


Figura 6: Máquina de estados do código desenvolvido para o Datalogger.

O botão controla o estado da variável *state*, de forma que a cada vez que este é pressionado a variável recebe o seu valor binário negado. O estado desta variável controla o funcionamento do dispositivo. Quando em estado baixo (*state=LOW*), o sistema estará em pausa e o LED vermelho acende para indicar visualmente este estado. Quando em estado alto (*state=HIGH*) o sistema funciona em modo de gravação normal.

Nesta situação, a cada iteração o sistema deve definir um novo tempo de *wake up*, referente ao horário que o sistema irá sair do estado de economia de energia (ou *sleep*) para realizar a gravação dos dados. Esse novo valor é determinado pelo usuário ao definir o valor de uma variável que controla o tempo (em minutos) que o sistema irá passar em modo de economia de energia. Essa funcionalidade é implementada por meio do módulo RTC, que mantém o controle temporal do sistema.

4.5.Sensores

4.5.1. Sensor de umidade do solo

Para a realização do procedimento experimental gravimétrico os seguintes equipamentos foram utilizados:

- I. Balança com precisão de décimo de grama.
- II. Estufa com temperatura ajustada.
- III. Recipientes para coleta de amostras de terra.
- IV. Sensor de umidade do solo e arduino UNO.

Inicialmente, foi necessário fazer uma mudança no sensor, uma vez que originalmente o mesmo possuía duas hastes de metal bastante sensíveis à corrosão. As hastes foram modificadas para um material feito de aço inox, como mostra a Figura 7, devido a sua resistência à corrosão.



Figura 7: Sensores com hastes modificadas – à esquerda – e sensor com haste original – à direita.

Para a realização do teste gravimétrico, primeiramente foi necessário realizar a limpeza dos recipientes das amostras com o objetivo de diminuir a interferência de possíveis impurezas no processo de pesagem. Esses foram molhados com água e secos com papel toalha. Após isso, a pesagem dos recipientes vazios foi feita para que fosse possível aplicar a tara nas pesagens a serem realizadas com as amostras de terra. Os valores de tara foram registrados em planilha.

Após a limpeza e tara de todos os recipientes, o processo de coleta de amostras foi iniciado. Utilizando um recipiente grande com terra, pequenos níveis de água foram inseridos gradativamente. Entre a inserção de água, os sensores de umidade foram inseridos na terra - os valores de tensão lidos foram registrados em planilha - e duas amostras coletadas e pesadas. É importante ressaltar que os sensores não podem ser inseridos juntos no mesmo recipiente, pois foi observado empiricamente que esse procedimento causa mudanças nos valores de tensão a serem lidos pelos transdutores.

Os recipientes foram colocados na estufa e permaneceram por 24 horas, quando os recipientes foram retirados e novamente pesados. Os valores das amostras secas foram registrados em planilha.

Foi utilizado o software Microsoft Excel para o cálculo dos valores de umidade a partir da relação dada por Cerqueira Jr, 2004.

$$U(\%) = \frac{P_{UMIDO} - P_{SECO}}{P_{SECO}} \times 100$$

É interessante notar que os pesos úmido e seco mostrados na fórmula acima são os pesos das amostras subtraídas do valor correspondente à tara do recipiente.

Após a realização do experimento gravimétrico, os resultados obtidos foram tabelados. Estes resultados serão discutidos na seção 5.2.1.

4.5.2. Sensores de temperatura

A realização do procedimento experimental teve como objetivo a obtenção da resposta dos sensores de temperatura utilizados no datalogger. Os equipamentos utilizados para a realização deste foram:

- I. Câmara térmica.
- II. Sensor de temperatura e arduino UNO.

O sistema montado para o experimento é mostrado na Figura 8.



Figura 8: Montagem do experimento de temperatura.

Primeiramente, foi checado os limites de operação de temperatura dos sensores utilizados a partir dos datasheets dos dispositivos. Utilizando o controle da câmara térmica, foram definidos os limites de temperatura sobre os quais o sensor seria testado, sendo estes de 10 °C e 50 °C. O datalogger foi configurado para salvar medidas de temperatura a cada 50 segundos e, assim que o sistema indicava o instante de gravação de dados dos sensores, através do LED verde, a medida de temperatura apresentada pela câmara térmica era registrada em uma planilha no software Excel. Ao fim, os dados gravados pelo datalogger foram passados para a planilha de forma que todos os valores pudessem ser comparados graficamente.

Desta forma, 55 medidas foram realizadas para que fosse possível realizar uma comparação entre os valores medidos pelos sensores do datalogger com o valor medido pelo sensor da câmara térmica. Estes resultados serão discutidos na seção 5.2.2.

4.6. Testes comparativos com um datalogger DAVIS

Com o intuito de certificar o funcionamento adequado do Datalogger desenvolvido, um teste comparativo deste com um Datalogger DAVIS foi realizado. Desta maneira, os dois equipamentos foram posicionados de maneira próxima de forma que estivessem sob a influência das mesmas variáveis de vento e temperatura. A Figura 9 mostra como essa montagem final foi realizada.



Figura 9: Testes comparativos entre Dataloggers.

Os dados obtidos foram tabelados e utilizados para gerar gráficos comparativos. Assim, foi possível comparar o desempenho do Datalogger desenvolvido ao de um Datalogger comercial.

5. ANÁLISES E RESULTADOS

Como explanado na seção anterior, alguns experimentos foram realizados para auxiliar a projetar a alimentação do sistema, além de avaliar o desempenho deste. Abaixo, serão analisados os resultados obtidos nestes testes.

5.1. Sistema de alimentação

A Figura 10 mostra um gráfico comparativo entre as variações de tensão de alimentação registradas nos dois protótipos.

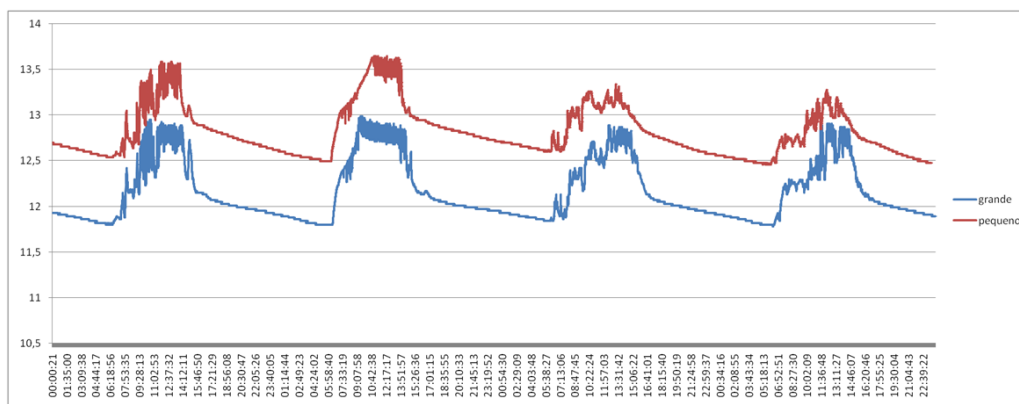


Figura 10: Gráfico que relaciona a tensão nas baterias dos dois sistemas e o horário do dia.

O gráfico mostra o comportamento da tensão sobre as baterias dos dois sistemas durante quatro dias, sendo o sistema com painel grande representado pela curva azul e o sistema com painel pequeno representado pela curva vermelha. O tempo durante os dois primeiros dias foi ensolarado e durante os dois últimos foi nublado. Nota-se uma queda considerável na carga da bateria entre esses quatro dias por conta desse fator. É possível perceber que o sistema deixa de carregar a bateria após determinado período do dia em que ainda possui radiação solar. Isso ocorre por conta do sombreamento, que prejudica a carga das baterias, mas não impossibilita a utilização de painéis solares no sistema de alimentação.

5.2. Sensores

5.2.1. Sensor de umidade do solo

As Figuras 11 e 12 mostram a relação gráfica entre os valores de umidade calculados - em percentual - e os valores de tensão fornecidos pelos sensores - de haste grande e pequena, respectivamente -, além de possuir uma linha de tendência do tipo linear, que relaciona matematicamente os diversos pontos do gráfico.

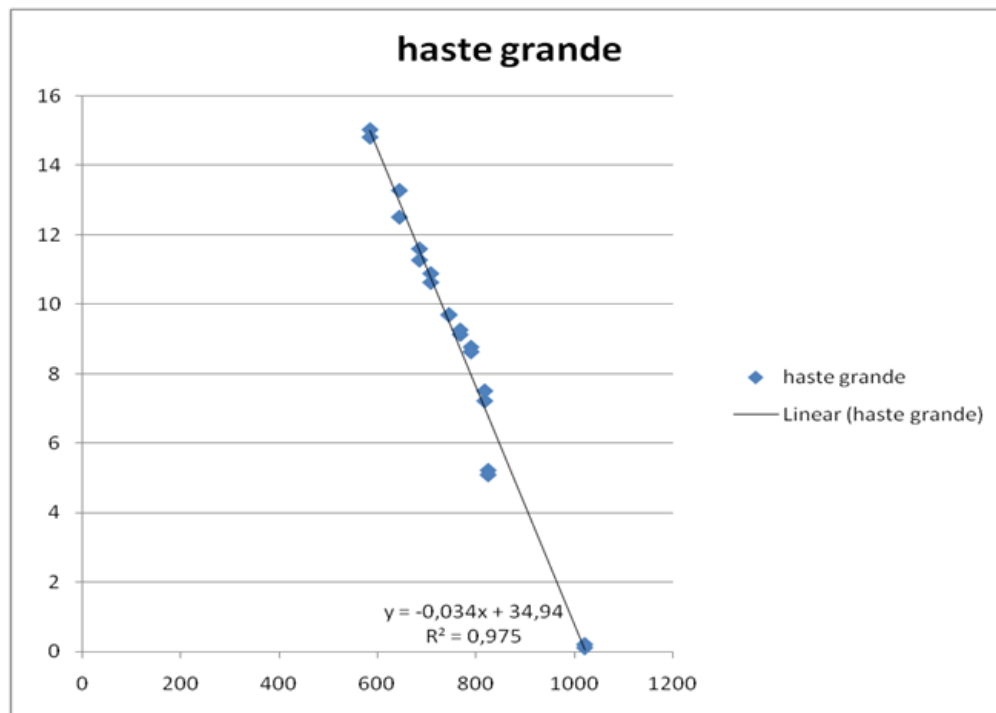


Figura 11: Gráfico que relaciona a umidade percentual da amostra com o valor de tensão digitalizado entre 0 e 1024. Sensor de haste grande.

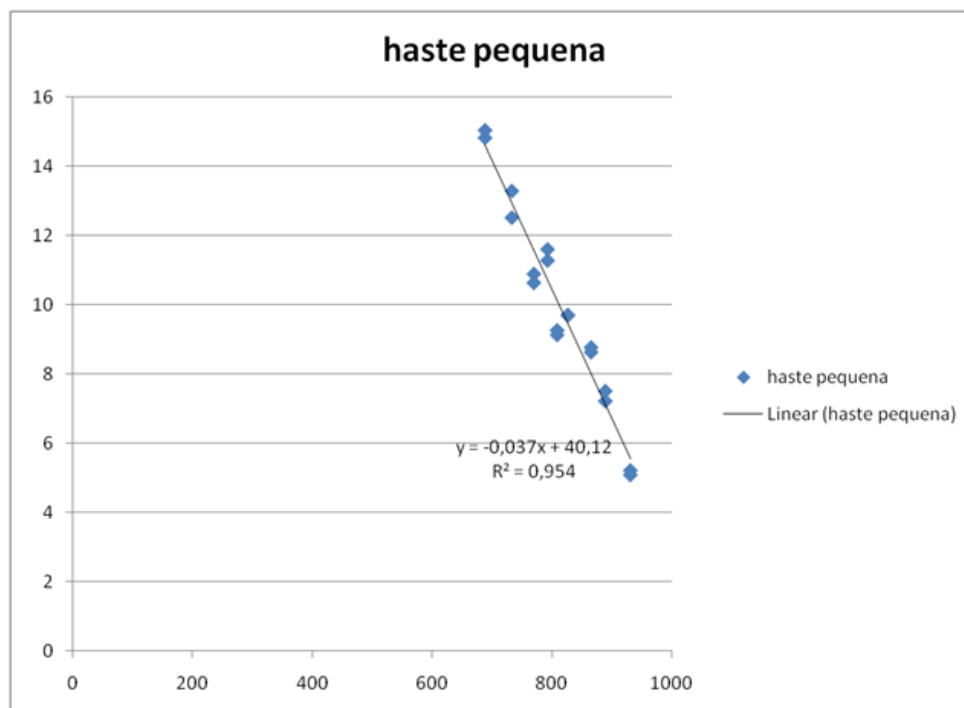


Figura 12: Gráfico que relaciona a umidade percentual da amostra com o valor de tensão digitalizado entre 0 e 1024. Sensor de haste pequena.

Com relação aos resultados obtidos no teste gravimétrico, como pode ser visto nas figuras acima, o coeficiente de determinação (R^2) obtido teve valores altos - 0,954 e 0,975 -

, significando que o procedimento experimental gravimétrico foi realizado de forma correta uma vez que a dispersão dos pontos com relação à linha de tendência é pequena.

5.2.2. Sensores de temperatura

A Figura 13 mostra um gráfico obtido a partir do procedimento experimental descrito na seção 4.5.2. Este gráfico apresenta o comportamento da temperatura nos dois sensores utilizados e da temperatura presente na câmara térmica.

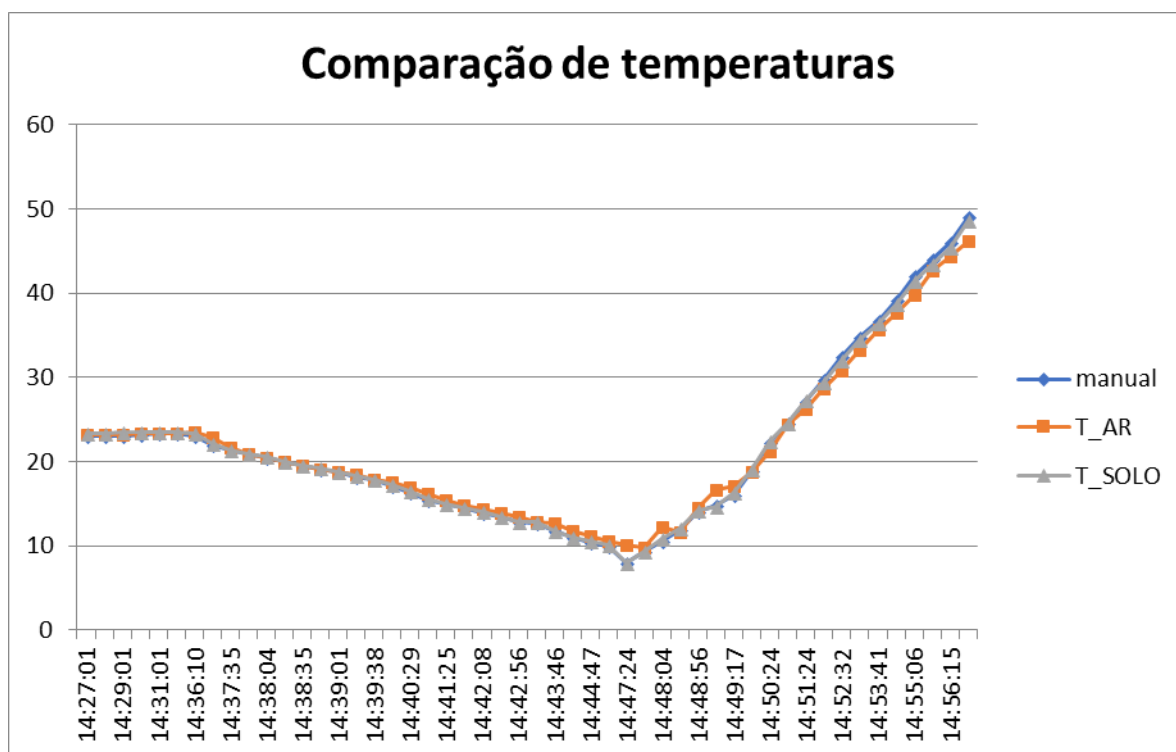


Figura 13: Gráfico que relaciona as temperaturas lidas pelos sensores com a temperatura na câmara térmica.

O gráfico da Figura 14 mostra curvas de temperatura bastante próximas. Para que uma análise mais precisa deste resultado, foi gerado um gráfico dos erros absolutos entre os valores de temperatura medidos pelos dois sensores e o valor de temperatura medido pela câmara térmica.

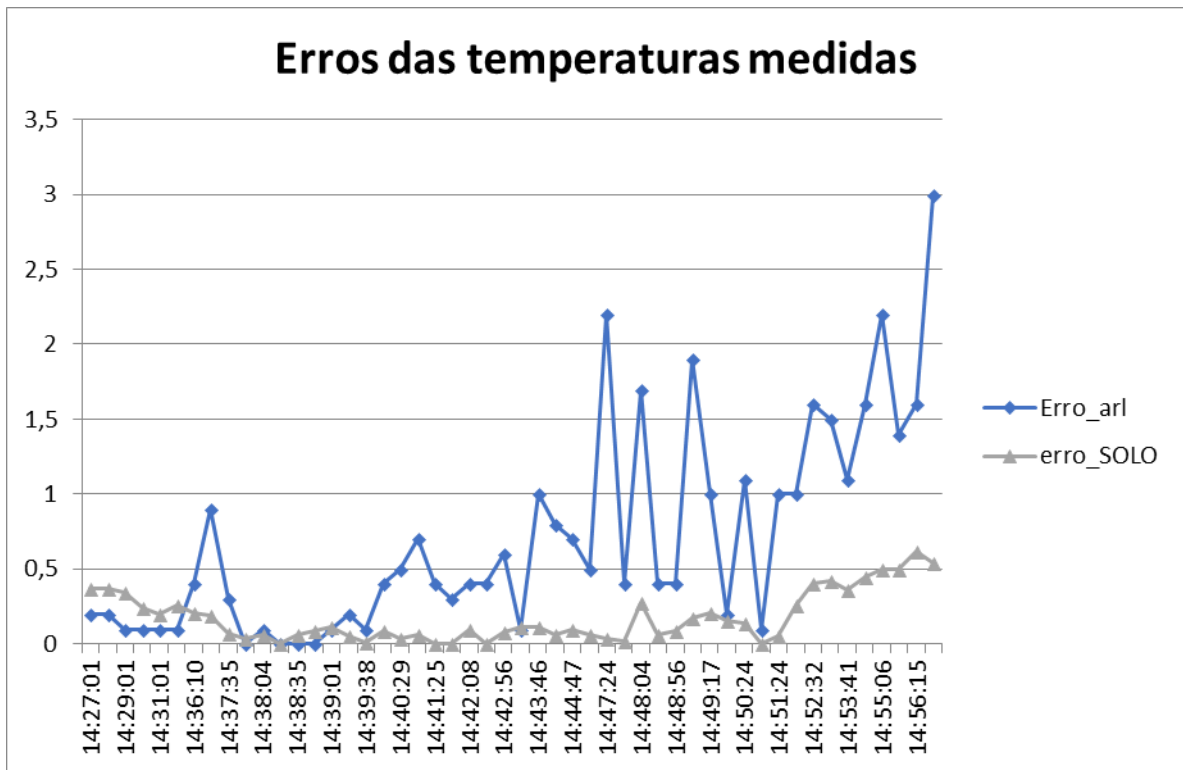


Figura 14: Gráfico que relaciona os erros absolutos das temperaturas lidas pelos sensores com a temperatura na câmara térmica.

A curva azul representa o erro absoluto da temperatura medida pelo sensor DHT11 e a curva verde o erro absoluto da temperatura medida pelo sensor DS18B20. Percebe-se que a curva verde se aproxima bastante de zero, apesar de possuir um distanciamento maior para temperaturas mais elevadas. Já a curva azul possui um comportamento mais distante do esperado, apresentando um erro que chega até a 3 °C para temperaturas próximas a 50 °C. Este valor de erro pode representar uma desvantagem no Datalogger de baixo custo realizado durante o projeto de pesquisa.

5.3.Comparação com datalogger DAVIS

As Figuras 15 e 16 mostram gráficos de temperatura e umidade do ar, respectivamente, obtidos a partir da comparação das medidas realizadas pelo Datalogger DAVIS e o Datalogger desenvolvido durante a pesquisa.

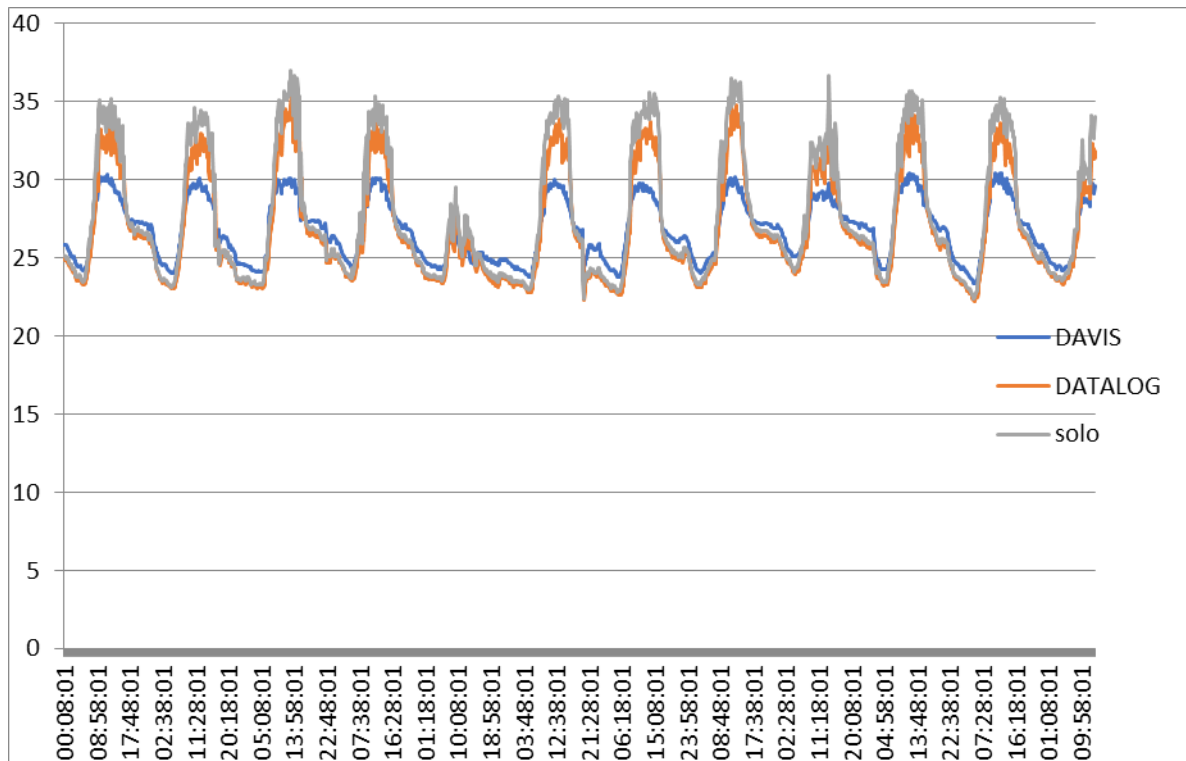


Figura 15: Gráfico que relaciona os valores de temperatura do ar lidos pelos dois sistemas.

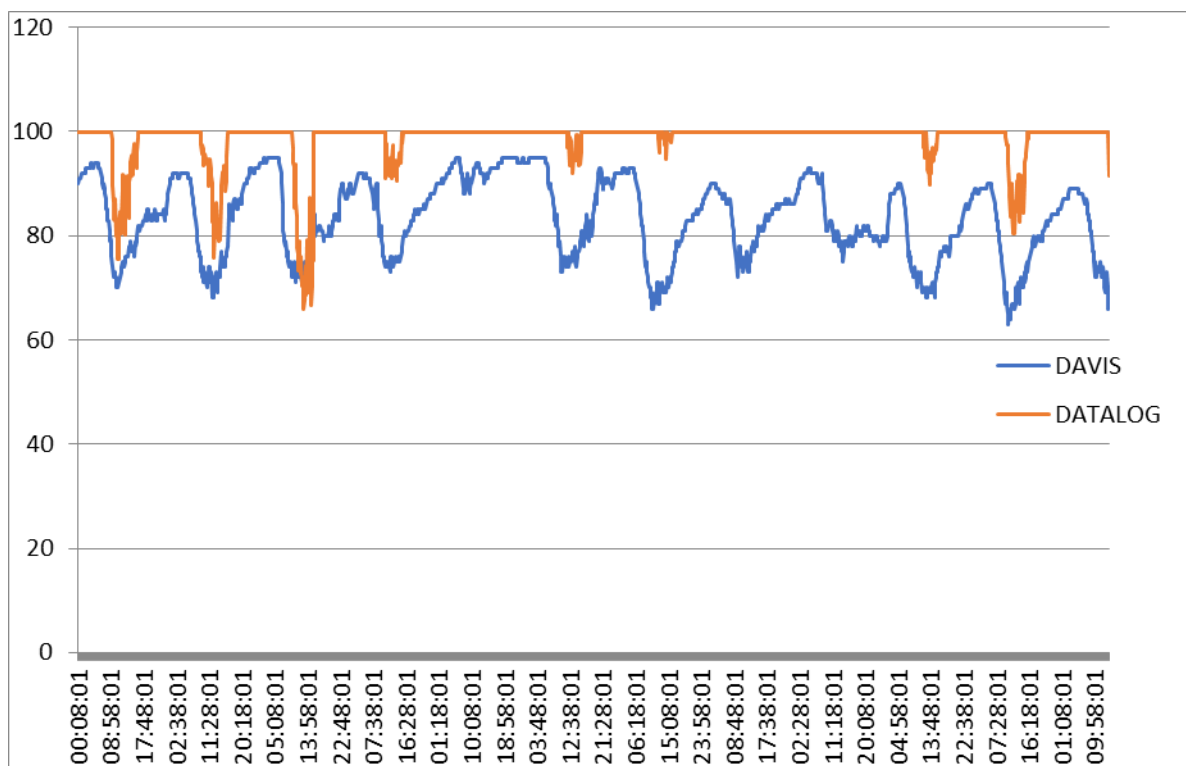


Figura 16: Gráfico que relaciona os valores de umidade do ar lidos pelos dois sistemas.

Na Figura 15, a curva azul representa a leitura realizada pelo datalogger comercial e as curvas verde e vermelha representam, respectivamente, as leituras feitas pelos sensores

DSB1820 e DHT11. É possível constatar que existe um erro entre as medidas realizadas. Como o teste descrito anteriormente realizado com o intuito de se caracterizar a resposta dos sensores a diferentes temperaturas mostrou que os sensores possuem um erro absoluto máximo de 3 °C, as diferenças mostradas na Figura 15 podem ser explicadas pelo diferente posicionamento do sensor de temperatura do datalogger DAVIS, posicionado mais distante do solo.

Na Figura 16, a curva vermelha mostra a resposta de umidade do ar do sensor DHT11 e a curva azul mostra a leitura realizada pelo datalogger DAVIS. É possível perceber que o sensor DHT11 possui uma sensibilidade muito grande a extremos de umidade, mostrando que sua resposta não possui alta qualidade.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal a implementação de um datalogger de baixo custo. Este equipamento poderá ser utilizado em futuros trabalhos de pesquisa, especialmente para trabalhos em regiões distantes e isoladas.

Independentemente da aplicação em que este equipamento seja empregado, é imprescindível que a resposta de seus sensores seja confiável, apresentando resultados próximos de equipamentos profissionais. Por isso, foram realizadas análises da resposta dos sensores e frente a um datalogger comercial DAVIS. A exatidão dos resultados obtidos a partir do teste gravimétrico demonstra que a relação matemática entre a tensão lida pelo sensor e o valor de umidade é precisa. Os resultados mostrados anteriormente demonstraram uma maior exatidão nas medidas do sensor com haste grande, indicando que é melhor utilizá-lo ao inserir o sistema em campo. A partir dos testes realizados, também é possível concluir que, mesmo com a presença de sombreamento parcial, o sistema pode ser alimentado por um conjunto painel solar e bateria.

A pesquisa acerca deste tema propicia possibilidades para desenvolvimento de trabalhos futuros por meio do aprimoramento do hardware através da substituição do Arduino por um microcontrolador, além do uso de outros sensores que possuam uma resposta mais exata das variáveis a serem medidas. Finalmente, trabalhos futuros podem utilizar os dados obtidos dos sensores para se realizar um estudo do solo e do microclima de uma região.

REFERÊNCIAS

[1] Cerqueira Júnior, João Gualberto de; Dissertação de mestrado: Desenvolvimento de um reflectômetro no domínio da amplitude (ADR) para medida de umidade do solo; 66 págs.; RN, BCZM, UFRN, 2004.

[2] Margolis, Michael; Arduino Cookbook; 658 págs.; 1ª ed.; O'Reilly

[3] KOUMARIS, Nick. Arduino Data Logger Project. Disponível em: <<http://educ8s.tv/arduino-data-logger-project/>>
Acesso em: 06 jan. 2018.

[4] CUOMO, Fabio. Arduino Sleep and Wake Up test with DS3231 RTC.
Disponível em: <<http://www.instructables.com/id/Arduino-Sleep-and-Wakeup-Test-With-DS3231-RTC/>>
Acesso em: 10 dez. 2017.