



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **DESENVOLVIMENTO DE UM COLETOR DE DADOS DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL FOTOVOLTAICO**

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

Norran Hiroyuki Barros Hirayama (ETEP Faculdades, Bolsista PIBIC/CNPq)  
norranhirayama@hotmail.com

Dr. Waldeir Amaral Vilela (LABAS/COCTE/INPE, orientador)  
waldeir.vilela@inpe.br

Dr. Luiz Angelo Berni (LABAS/COCTE/INPE, coorientador)  
luiz.berni@inpe.br

INPE-SJC

Julho de 2018



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **DESENVOLVIMENTO DE UM COLETOR DE DADOS DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL FOTOVOLTAICO**

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

Norran Hiroyuki Barros Hirayama (ETEP Faculdades, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: norranhirayama@hotmail.com

Dr. Waldeir Amaral Vilela (LABAS/COCTE/INPE, orientador)

E-mail: waldeir.vilela@inpe.br

Dr. Luiz Angelo Berni (LABAS/COCTE/INPE, coorientador)

luiz.berni@inpe.br

INPE-SJC

Julho de 2018



## RESUMO

Este trabalho de Iniciação Científica teve como um dos objetivos o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados ambientais de baixo custo. Para utilização em campo na medição de grandezas físicas ambientais, tais como: pressão; temperatura; umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar. Estes dados são normalmente utilizados em modelos de previsão meteorológicas e em modelos para estudos e avaliação de potencial de energia alternativas para uma determinada região, tais como: energia eólica, térmica e fotovoltaica solar e outras.

Para o desenvolvimento de um protótipo do sistema de aquisição de dados de baixo custo, foi utilizado uma plataforma Arduino UNO, que é um microprocessador com uma grande flexibilidade de operação. Esta plataforma é disponível no mercado e é baixo custo. O Arduino UNO possui 6 entradas digitais com resolução de 10 bits. Também foram utilizados para testes sensores de baixo custo, como o LM35, DTH11, e um radiômetro fotovoltaico desenvolvido no LABAS/INPE. As grandezas ambientais detectas pelos sensores são convertidas em sinais elétricos analógicos que o sistema de aquisição de dados transforma num valor digital para ser processado e armazenado pelo sistema de aquisição de dados. Um gravador de memória flash armazena os dados coletados em cartão tipo microSD. Também foi utilizado um conversor analógico-digital externo de 16 bits que é um acessório para o Arduino vendido separadamente. O conversor A/D de 16 bits foi necessário para aumentar a resolução do sistema de leitura de sensores, como os radiômetros. Para validar o sistema desenvolvido, os dados ambientais obtidos foram comparados com os dados obtidos simultaneamente em um sistema de aquisição de dados comercial da Campbell Scientific (CR1000), que é comumente utilizado nas plataformas de coleta de dados do INPE.



## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

|                   |  |
|-------------------|--|
| PCDs              | Plataformas de Coleta de Dados                                       |
| ADC               | Conversor analógico - digital  |
| NTC               | Coefficiente Negativo de Temperatura                                 |
| T <sub>c</sub>    | Temperatura em °C  |
| S <sub>LM35</sub> | Valor do Sensor LM35   |
| S                 | Saída do Radiômetro  |
| K                 | Constante calibração   |
| $\phi$            | Fluxo da radiação incidente  |
| V <sub>out</sub>  | Menor sinal de tensão que conversor A/D do Arduino consegue resolver |
| V <sub>in</sub>   | Tensão de entrada no conversor (5V)                                  |
| b                 | Número de bits do conversor A/D (10 bits).                           |
| P                 | Período Suportado  |
| M                 | Memória do Cartão SD   |
| D                 | Dados armazenados por tempo  |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Sistema de Aquisição de dados .....   | 4  |
| Figura 2 - CR1000 .....  | 6  |
| Figura 3 - Arduino Uno e suas principais partes .....  | 7  |
| Figura 4 – RTC .....   | 8  |
| Figura 5 - LM35 .....  | 9  |
| Figura 6 - DHT11 .....   | 10 |
| Figura 7 – Radiômetro .....  | 12 |
| Figura 8 - Nanoshield ADC.....   | 13 |
| Figura 9 - Nanoshield MicroSD .....  | 14 |
| Figura 10 – Protótipo.....   | 17 |
| Figura 11 – Curva de resposta do radiômetro obtidas no protótipo desenvolvido em<br>comparação com a curva obtida simultaneamente no CR1000..... | 20 |
| Figura 12 – Curvas da irradiância solar comparadas com a temperatura dentro do protótipo.<br>.....   | 20 |



## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Especificações do RTC .....                       | 8  |
| Tabela 2 – Especificação do Sensor de temperatura LM35 ..... | 9  |
| Tabela 3 - Especificações do DHT11 .....                     | 11 |
| Tabela 4 - Armazenamento de Dados por tempo .....            | 15 |
| Tabela 5 – Dados do Arduíno no Excel.....                    | 18 |
| Tabela 6 – Dados do CR1000 no Excel.....                     | 19 |



## SUMÁRIO

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....             | 1  |
| 2. OBJETIVOS.....              | 3  |
| 3. METODOLOGIA.....            | 4  |
| 3.1 Aquisição de dados .....   | 4  |
| 3.2 CR1000 .....               | 6  |
| 3.3 A plataforma Arduino ..... | 6  |
| 3.4 RTC.....                   | 7  |
| 3.5 Sensores .....             | 8  |
| 3.5.1 LM35 .....               | 8  |
| 3.5.2 DHT11 .....              | 10 |
| 3.5.3 Radiômetro .....         | 11 |
| 3.6 ADC .....                  | 13 |
| 3.7 MicroSD.....               | 14 |
| 4. RESULTADOS .....            | 16 |
| 5. CONCLUSÃO.....              | 21 |
| 6. TRABALHOS FUTUROS .....     | 22 |
| 7. REFERÊNCIAS .....           | 23 |
| 7.1 Sites consultados:.....    | 24 |



## 1. INTRODUÇÃO

O LABAS/INPE em parceria com CCST/INPE desenvolve um projeto de pesquisa que visa elaborar estudos para a determinação de qual tecnologia de painéis solares fotovoltaicas é a mais adequada para a região sudeste do Brasil. Este projeto de Iniciação Científica tem como principal missão colaborar com este projeto de pesquisa desenvolvendo um sistema de aquisição de dados alternativo e de baixo custo que será utilizado em experimentos paralelos de aquisição de dados ambientais.

Para o estudo de qual tecnologia de painéis solares fotovoltaicas é a mais adequada, foi instalado no INPE em Cachoeira Paulista - SP em um sítio meteorológico, próximo ao Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM), um experimento que consiste no monitoramento do desempenho em campo de seis painéis solares de diferentes tecnologias, sendo quatro painéis constituídos por células fotovoltaicas baseadas no silício (Si amorfo, Si microcristalino, Si policristalino e Si monocristalino) e dois de células especiais (Arseneto de Gálio e multijunção). Um Sistema de Aquisição de Dados comercial é utilizado para aquisição dos dados de desempenho de cada painel, que foram montados no plano inclinado cujo ângulo de inclinação é o da latitude local. Em cada painel foi instalado um termopar tipo K para monitorar a temperatura. O desempenho de cada painel é obtido a partir da sua corrente de curto circuito que é obtida através da queda de tensão sobre resistores shunt. Um rádio transmissor e receptor é utilizado para comunicação de dados com o computador instalado dentro do laboratório no prédio do LIM, um piranômetro de termopilha é utilizado para monitorar a irradiação solar que incide sobre os painéis.

A aquisição de dados é realizada automaticamente de minuto a minuto, onde são coletados os valores da corrente de curto circuito ( $I_{CC}$ ) dos módulos, a temperatura de cada módulo, e a irradiância solar global no plano inclinado. Os dados são coletados e enviados via rádio para o computador.

Além dos dados de performance dos painéis solares e da irradiância local outros parâmetros ambientais são importantes para o projeto. Normalmente dados ambientais são obtidos através de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), que são estações que coletam dados ambientais automaticamente, tais como: temperatura, umidade, pressão, velocidade e direção do vento, índice pluviométricos, radiação solar e outros. As PCDs são constituídas





de sensores e de sistemas de aquisição, armazenamento e transmissão de dados. Elas surgiram da necessidade de obter regularmente informações das condições ambientais para a agricultura, navegação marítima, aérea, previsão meteorológica, etc. O INPE dispõe de diversas PCDs instaladas em todo território nacional que fazem aquisição contínua de dados e os envia de tempo em tempo para os centros de pesquisas do INPE onde estes dados são processados e analisados.

Os sistemas de aquisição de dados automáticos ou registradores de dados, comerciais são desenvolvidos para diferentes áreas de atuação, tanto industriais como científicas, apresentando resoluções e custos variáveis. Sendo que todo tem como objetivo coletar, armazenar e apresentar os dados ao observador e estes dados são valores de variáveis diversas que estão sendo medidas através dos mais diversos tipos de sensores.

## 2. OBJETIVOS

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aquisição de dados de baixo custo para uso em experimentos científicos que não exigem alta densidade dos dados. Sua principal função será obter dados através de medições de grandezas físicas ambientais, como: pressão; temperatura; umidade e radiação solar. Os sensores ambientais são dispositivos que geram um sinal elétrico proporcional a uma grandeza física ambiental qualquer que está sendo medida, por exemplo, um sensor de temperatura, transforma a temperatura de um determinado ambiente que está sendo medida em uma corrente elétrica, ao medir a corrente elétrica é possível saber qual é temperatura correspondente deste ambiente em graus Celsius.

Na maioria das vezes, os valores medidos não são iguais ao valor real da grandeza medida, por ter erro devido a influência de outras variáveis e da incerteza que o próprio instrumento ou processo de medição apresenta. Para minimizar a incerteza da medição é preciso especial cuidado na escolha dos sensores e do sistema de coleta de dados. Para isso, neste projeto, utilizou-se circuitos eletrônicos e componentes apropriados para o bom funcionamento do sistema e de baixo custo sem comprometer a qualidade dos dados gerado

Neste trabalho, foi concebida a ideia de se utilizar uma plataforma Arduino, que é um microprocessador com uma grande flexibilidade de operação, de fácil disponibilidade no mercado e de baixo custo. Também foi utilizado, sensores mais simples e de baixo custo como: LM35, DTH11 e radiômetros fotovoltaico.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Aquisição de dados

A aquisição de dados automática é o processo de medição e armazenamento de informação de um fenômeno físico qualquer, como o sinal proveniente de um sensor que pode ser tensão ou, corrente. O sinal elétrico é então convertido em valores correspondentes as grandezas medidas como, por exemplo, temperatura, pressão, intensidade de som, luminosidade, fluxo de líquidos etc. Um sistema de aquisição de dados automático é normalmente formado por sensores, dispositivos de e medição, e uma unidade lógica interna para o processamento e armazenamento de dados. Normalmente utiliza-se uma interface de comunicação com o usuário do sistema que pode ser um display e teclado ou um computador.

Em comparação com os sistemas tradicionais de medição, os sistemas de aquisição automático exploram a capacidade de processamento, produtividade, sistemas de visualização e recursos de conectividades dos computadores padrão da indústria. Com isso, temos uma solução de medição mais poderosa, flexível e de melhor custo-benefício. Na figura 1 mostra o processo de um sistema que utiliza uma unidade DAQ (data acquisition).



Figura 1 – Sistema de Aquisição de dados  
FONTE: National Instruments, 2018

O dispositivo aquisição de dados atua como a interface entre um computador e

sinais do mundo exterior. Ele funciona basicamente como um dispositivo que digitaliza sinais analógicos de entrada de forma que um sistema de processamento digital possa interpretá-los. Um computador é normalmente utilizado para programar a aquisição de dados em diversas funções e receber os dados que podem ser manipulados e armazenados em planilhas ou bancos de fácil acesso. Os três componentes principais de um dispositivo aquisição de dados usados para medir um sinal são os circuitos eletrônicos de condicionamento de sinais, conversor analógico-digital (ADC) e o barramento do microprocessador interno.

Muitos dispositivos aquisição de dados contêm acessórios adicionais e funções especiais, para a automação de sistemas e processos de medição. Por exemplo, conversores A/D analógico-digital alta resolução para uso especiais, conversores digital-analógico que fornecem sinais analógicos para atuação em sistemas de controle, linhas de E/S digital fornecem sinais digitais em suas entradas e saídas que são muitas vezes usadas para disparar a aquisição dos sinais dentro de um processo de medição e os contadores/temporizadores que contam e geram pulsos digitais para diversas aplicações.

Os sinais dos sensores podem ser ruidosos ou demasiadamente intensos ou têm para serem medidos diretamente. Os circuitos de condicionamento de sinais colocam o sinal em um formato adequado para a entrada em uns conversores A/D. Esses circuitos podem incluir amplificação, atenuação, filtragem e isolamento. Alguns dispositivos aquisição de dados contêm condicionamento de sinais projetado para a medição com tipos específicos de sensores.

Sinais analógicos dos sensores devem ser convertidos em digitais antes de serem manipulados por dispositivos de processamento digitais. Um conversor A/D é um dispositivo eletrônico que fornece a representação digital de um sinal analógico em um instante do tempo. Na prática, os sinais analógicos variam continuamente ao longo do tempo e um ADC coleta "amostras" periódicas de um sinal em uma taxa predefinida. Essas amostras são transferidas por um barramento ao computador, onde o sinal original é reconstruído a partir das amostras do software.

### 3.2 CR1000

O CR1000 é um sistema de aquisição de dados importado, fabricado pela Campbell inc., muito utilizados nas PCDs do INPE, na figura 2 podemos ver uma foto deste dispositivo. Ele consiste basicamente em um módulo de medição e controle de dados.



Figura 2 - CR1000  
FONTE: Campbellsci, 2018

Para programá-lo e visualizar os dados, pode ser usado um teclado / display externo ou ser conectado a um computador. A alimentação pode ser diretamente através de baterias de 12V ou através de fonte conectada a rede elétrica. O baixo consumo de energia permite que o CR1000 opere por longos períodos de tempo com uma bateria recarregada por um painel solar. O CR1000 suspende sua operação quando a tensão de alimentação cai abaixo de 9,6V, reduzindo a possibilidade de medições imprecisas.

O módulo CR1000 lê os sensores, processa os dados, controla dispositivos externos e armazena os dados internamente em uma memória não volátil. O acesso aos dados pode ser realizado via uma porta serial RS232 ou ser conectado ao um dispositivo de telemetria como por exemplo um rádio. Os circuitos eletrônicos do CR1000 são protegidos contra RF através de uma blindagem metálica. Um relógio interno com respaldo de bateria própria garante uma execução precisa. A linguagem de programação do dispositivo é própria baseada na linguagem BASIC, e suporta rotinas de processamento e análise de dados.

### 3.3 A plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas – como por

exemplo, luz em um sensor, acionamento em um botão ou uma mensagem na via celular - e transformá-la em uma saída - ativando um motor, acionando um LED, publicando algo online. É possível programar o Arduino com um conjunto de instruções. Para isso, utiliza-se a linguagem de programação própria do Arduino.

A plataforma Arduino que apresenta grandes vantagens em relação a outros sistemas de controle devido principalmente a facilidade de programação e a sua flexibilidade em termos de aplicação. Neste projeto o Arduino tem a função de coletar e armazenar os sinais gerados pelos sensores num cartão micro SD.

Existem várias versões de placas Arduino, a mais popular é o Arduino Uno, segue na Figura 3 sua imagem e suas especificações, devido a sua versatilidade e ao seu tamanho reduzido.

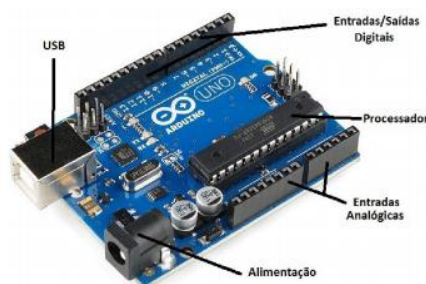


Figura 3 - Arduino Uno e suas principais partes  
FONTE: Filipeflop, 2018

### 3.4 RTC

O RTC (Real Time) é um relógio com calendário completo e mais de 56 bytes de SRAM, sendo capaz de fornecer dados de tempo como segundo, minutos, dia, data, mês e ano.

Neste trabalho foi utilizado no Arduino o RTC “DS1307” que pode ser visto na Figura 4. Este circuito é capaz de detectar falta de energia, acionando assim automaticamente a bateria para evitar perda de dados.



Figura 4 – RTC  
 FONTE: Filipeflop, 2018

As informações de tempo são transferidas via protocolo I2C. Correções como meses com menos de 31 dias e anos bissextos são feitas automaticamente. Este RTC opera tanto no formato 12 horas como 24 horas. Suas especificações são mencionadas abaixo e na Tabela 1.

- Gera tempos de segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099).
- 56 bytes de SRAM que podem ser usadas como RAM estendida do microcontrolador.
- Circuito de detecção de falha de energia.
- Consumo inferior de 0,05 mA no modo bateria com oscilador em funcionamento.

| <b>Especificações do RTC</b> |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Interface I2C                |                 |
| Chip                         | DS1307          |
| Faixa de temperatura         | -40°C a +85°C.  |
| Dimensões                    | 27 x 28 x 8,4mm |

Tabela 1 - Especificações do RTC

### 3.5 Sensores

Os sensores são dispositivos eletrônicos que tem como função de detectar uma grandeza física e transformá-lo em sinal elétrico para que lido por um instrumento de medição. No desenvolvimento deste trabalho que tem como objetivo desenvolver um dispositivo para medida e armazenamento de dados ambientais, utilizou-se sensores de temperatura, umidade e radiação solar. Os sensores utilizados foram LM35, DTH11 e radiômetro.

#### 3.5.1 LM35

O LM 35 é um sensor analógico com precisão de até  $\pm 1/4^\circ \text{C}$  na faixa de 0 a  $100^\circ \text{C}$  e é utilizado para medir a temperatura do ambiente em que ele se encontra. Ele apresenta uma saída diretamente proporcional à temperatura de  $\sim 10 \text{ mV}$  para cada Grau Celsius que é relativamente linear em toda a faixa de operação para a qual ele é especificado. Por apresentar uma baixa impedância em seus terminais, este sensor pode ser facilmente conectado ao Arduino ou outro microcontrolador sendo necessário apenas uma entrada analógica. O LM35 não degrada facilmente sua calibração, por isso não necessita de recalibração constantes ou de sistema para ajustes de off set.

Na Figura 5 é mostrado um desenho deste sensor, ele possui três terminais, que são a entrada de tensão (4 Vcc a 20 Vcc), saída do sinal elétrico e o terminal comum para conectar ao terra do circuito.

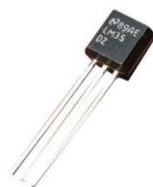


Figura 5 - LM35  
 FONTE: Filipeflop, 2018

Neste projeto foram conectados um resistor e um transistor na sua saída para que haja uma regulagem da corrente, tornando o mais seguro caso haja uma sobretensão em sua entrada. Suas especificações são mencionadas na Tabela 2.

| <b>Especificações do LM35</b> |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Calibrado em graus Celsius    |                   |
| Faixa de temperatura          | -0°C a 100°C      |
| Precisão                      | 0,5°C             |
| Tensão de operação            | 4 a 30V           |
| Consumo de corrente           | <60 $\mu\text{A}$ |

Tabela 2 – Especificação do Sensor de temperatura LM35

Para utilização deste sensor com o Arduíno não é necessária uma biblioteca



específica na programação para realizar a medição de temperatura.

Neste projeto este sensor é utilizado para verificar se a temperatura próxima ao Arduino afeta o processo de medição do sistema de aquisição de dados.

Para a leitura do LM53 pelo Arduino, foi utilizado na programação a equação eq(1) abaixo, que converte o sinal do sensor em graus Celsius.

$$T_c = \frac{S_{LM53} * 5 * 100}{1024} \quad \text{eq (1)}$$

Onde:

Tc - Temperatura em °C;

S<sub>LM35</sub> - Tensão na saída do sensor convertida em bits.

O programa do Arduino irá ler o valor do sinal analógico na saída do sensor, que varia de 0 a 5Vcc e converterá em um sinal digital que varia de 0 a 1023, onde 0 corresponde a 0 Volts e 1023 corresponde a 5 Volts. Com a equação acima colocada na programação do Arduino é possível fazer a relação entre a temperatura que está sendo lida com o sinal elétrico gerado pelo sensor.

### 3.5.2 DHT11

O DHT11 um dispositivo eletrônico que tem integrado em um único encapsulamento dois sensores, sendo um sensor de temperatura e um sensor de umidade. O elemento de sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC, que permite fazer leituras entre 0 a 50 °C, e o de umidade é do tipo HR202, que detecta umidade relativa do ar entre 20 a 90%. Na Figura 6 podemos ver um desenho ilustrativo deste dispositivo.



Figura 6 - DHT11  
FONTE: Filipeflop, 2018

Ele possui um circuito interno que faz a leitura dos sensores e se comunica a um micro controlador através de um sinal serial de uma via. Este sensor possui quatro terminais sendo que somente 3 são usados: GND, VCC e Dados. A alimentação deste sensor (VCC) é de 3Vcc a 5Vcc, também pode ser colocado um resistor “pull up” de 10K entre o VCC e o pino de dados. Suas especificações são mencionadas na tabela 3.

| <b>Especificações do DHT11</b>     |  |
|------------------------------------|--|
| Faixa de medição de umidade        | 20 a 90% UR                                  |
| Faixa de medição de temperatura    | 0º a 50ºC                                    |
| Alimentação                        | 3-5VDC (5,5VDC máximo)                       |
| Corrente                           | 200uA a 500mA, em stand by de 100uA a 150 uA |
| Precisão de umidade de medição     | ± 5,0% UR                                    |
| Precisão de medição de temperatura | ± 2.0 ºC                                     |
| Tempo de resposta                  | 2s   |
| Dimensões                          | 23 x 12 x 5mm (incluindo terminais)          |

Tabela 3 - Especificações do DHT11

Na programação do Arduíno, este tipo de sensor requer a instalação da biblioteca DHT.h, para que o sinal gerado por ele possa ser lido.

### 3.5.3 Radiômetro

Um radiômetro solar é um sensor que converte a radiação solar que incide em sua superfície em um sinal elétrico proporcional a intensidade desta radiação.

Os sensores de radiação solar são de diversos tipos e recebe a denominação genérica de radiômetro solar ou piranômetro solar. A classificação destes sensores está relacionada a sua aplicação e qual a componente da radiação que ele mede. Neste trabalho será utilizado um radiômetro fotovoltaico global que foi desenvolvido pelo LABAS/INPE e encontrasse disponível para ser utilizado, não necessitando de compra deste sensor. Os radiômetros

desenvolvidos pelo INPE apresentam funcionamento satisfatório equivalente aos importados.

Na figura 7 podemos ver o sensor de radiação solar desenvolvido pelo INPE.



Figura 7 – Radiômetro

O sinal na saída deste sensor é dado pela expressão eq(2) abaixo:

$$S = K\phi \quad \text{eq (2)}$$

Onde:

S - Sinal de saída do sensor;

K - Constante de calibração do sensor;

$\phi$  - Fluxo da radiação incidente.

Neste trabalho será utilizado um radiômetro fotovoltaico global que foi desenvolvido pelo LABAS/INPE e encontrasse disponível para ser utilizado, não necessitando de compra deste sensor. Os radiômetros desenvolvidos pelo INPE apresentam funcionamento satisfatório equivalente aos importados.

O sensor de radiação solar não pode ser acoplado diretamente a entrada do protótipo, pois o Arduino trabalha com 5 V como fundo de escala em sua entrada analógica, considerando o conversor A/D original do dispositivo e de acordo com a equação eq(3) que nos da resolução.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2^b} \quad \text{eq (3)}$$

Onde:

$V_{out}$  - Sinal de saída (é o menor sinal de tensão que conversor A/D do Arduino consegue resolver);

$V_{in}$  - Tensão de entrada no conversor (5V);

b - Número de bits do conversor A/D (10 bits).

O menor sinal que o protótipo do sistema de aquisição de dados desenvolvido com o Arduino original consegue ler é de 4,8mV, ou seja, o Arduino só entenderá sinais em sua entrada acima deste valor. Se o radiômetro for acoplado diretamente na entrada do Arduino, ele não conseguirá medir irradiâncias abaixo de 300 W/m<sup>2</sup>. A solução que melhor atendia ao projeto foi utilizar um conversor A/D de maior resolução, então adquiriu-se um conversor A/D de 16 bits (Nanoshield ADC) que é compatível com o Arduino e produzido pelo mesmo fabricante.

### 3.6 ADC

O Nanoshield ADC é um conversor analógico-digital com resolução de 16 bits normalmente utilizado em plataformas Arduino para expandir o número de entradas analógicas, ele tem internamente um circuito integrado ADS1115 que é ideal para aplicações como sensores industriais de temperatura, pressão, umidade, entre outros.

O Nanoshield ADC possui 4 entradas analógicas independentes. Ele foi utilizado para leitura de tensões absolutas, que é a tensão presente no canal é medida em relação ao GND do módulo, para resolver o problema do radiômetro com o Arduino.

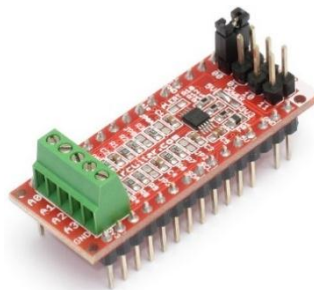


Figura 8 - Nanoshield ADC  
FONTE: Circuitar, 2018

### 3.7 MicroSD

A sigla SD vem do termo em inglês “*Secure Digital*”. O cartão SD nada mais é do que uma forma segura e acessível de armazenar grande quantidade de informação.

Esses cartões utilizam a chamada memória flash, ou armazenamento sólido, uma técnica de gravação resistente a impactos e mais veloz na transferência dos dados. A informação fica armazenada no chip sem que seja necessário o acesso a uma bateria ou outras fontes de energia.

Com o Nanoshield MicroSD, que está sendo utilizado para o projeto, é possível expandir a capacidade de armazenamento de dados do seu projeto usando um cartão MicroSD de até 32GB. Além disso, como essa é uma mídia removível, você dispõe de maior flexibilidade no acesso aos dados.

Um dos modos de comunicação com um cartão SD ou MicroSD é via uma interface SPI. O nanoshield faz com que o sistema SPI disponível no Arduíno seja utilizado para acessar os dados do cartão de forma eficiente.

A função do MicroSD no projeto será o responsável por armazenar todos os dados coletados pelos sensores, e formar uma tabela em .txt para fácil visualização e análise.



Figura 9 - Nanoshield MicroSD  
FONTE: Circuitar, 2018



Com os dados salvos no .txt, verificou-se que em 1 hora o arquivo tem 294 bytes de memória, que na tabela a baixo demonstra a memória armazenado de dados e seu período.

| Armazenamento de Dados |      |
|------------------------|------|
| 0,294                  | kb/h |
| 7,056                  | kb/d |
| 2,57544                | Mb/a |

Tabela 4 - Armazenamento de Dados por tempo

Para verificar o quanto um cartão poderia armazenar, utilizou-se um de 1Gb para teste. Com isso, foi gerado uma equação eq(4) para calcular até quando o cartão poderia armazenar.

$$P = \frac{M}{D} \quad \text{eq(4)}$$

Onde:

P - Período suportado;

M - Memória do cartão;

D - Dados por tempo calculados na tabela 4.

#### 4. RESULTADOS

Na primeira fase do projeto, o objetivo foi desenvolver um protótipo de um sistema de aquisição de dados de baixo custo com uma plataforma Arduino e acoplá-lo a uma PCD disponível no campus do INPE de São José dos Campos em paralelo com um datalogger de alta resolução importado (CR1000), e verificar se os dados adquiridos são semelhantes e tem qualidade para serem aproveitados em projetos de pesquisa.

A função principal deste primeiro desenvolvimento foi identificar se um sistema de aquisição de dados feito com a plataforma Arduino, que é acessível no mercado nacional e de baixo custo pode substituir sistemas mais complexos e importados, que é mais difícil de ser adquiridos por pequenos projetos de pesquisa.

Com intuito de monitorar o funcionamento do sistema de aquisição desenvolvido, foram utilizados sensores baratos compatíveis com a plataforma Arduino. Estes sensores, aqui descrito, teve a finalidade de facilitar o desenvolvimento em laboratório do sistema e quando instalado em campo servirá para monitorar o próprio sistema de aquisição de dados, como exemplo, monitorando a temperatura de funcionamento do dispositivo.

Para a compreensão e uso do Arduino, foi realizando testes de cada sensor, para que fosse possível aprender e testar se os sensores estavam em perfeitos estados. Pós testes, foi desenvolvido um sistema elétrico para o protótipo e foram acoplados todos num protoboard para um teste simples, caso houvesse algum conflito entre os sensores.

Obtendo um resultado satisfatório, do protoboard foi transferido para uma placa, para que não houvesse qualquer problema com conexão.

Com o desenvolvimento da placa, exigiu-se uma caixa de proteção para o protótipo atual, para proteger o sistema da chuva e intempéries, que foi necessário desenvolver um meio para que a placa e o Arduino ocupassem o menor espaço possível para poder ser colocado dentro do sistema onde o CR1000 está acoplado.

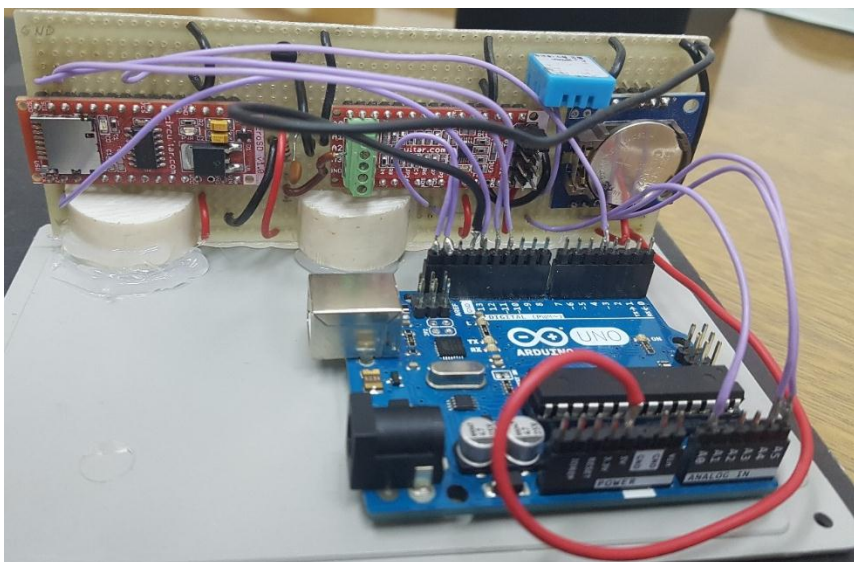


Figura 10 – Protótipo

Completando a montagem do protótipo, foram realizados testes no meio ambiente com um radiômetro disponível no laboratório para realização de teste.

A verificação do sistema ao todo foram satisfatórios, sendo assim, foi realizado uma análise do CR1000 para que pudesse conectar o protótipo com ele, mas sem que interferisse nas suas funcionalidades.

Na verificação dos dados do CR1000, foi verificado que não posso manipular os seus dados, apenas copiá-los para uma outra plataforma para que fosse possível o seu controle de filtro, analisando apenas uma data definida como exemplo. Com isso, os dados foram transferidos para o Excel, uma plataforma de tabelas de fácil manuseio, onde foi possível filtrar os dados com as necessidades requeridas e pudesse selecionar a tabela requerida semelhante dos dados do Arduíno.

Com todos os dados já verificados, o protótipo foi acoplado na torre onde se encontra o CR1000 com seus sensores, conectando-os em conjunto para que fosse possível a análise dos dois com o mesmo sensor (radiômetro). Assim como definidos, os dois realizam a coleta, mas no CR1000 foi definido para uma coleta de 5 em 5 minutos, enquanto do Arduíno, 1 em 1 minuto. Isso foi necessário para que pudesse verificar todas as alterações que estava acontecendo com o radiômetro, pois por ser ele o sistema em teste,



passa a ser necessário a verificação com a temperatura, onde pode acabar influenciando o protótipo.

O protótipo já interligado com o mesmo radiômetro que o CR1000, observa-se na tabela 5 os dados do Arduíno e na tabela 6 os dados do CR1000, foi necessário filtrar os dados por dia da coleta e um tempo de 30 minutos para que não tivesse muitos valores no Excel.

| 1     | Dia        | Temp  | T(LM3) | Radian | Tensa  |
|-------|------------|-------|--------|--------|--------|
| 49838 | 16/07/2018 | 00:00 | 22,89  | 3,5    | 0,063  |
| 49868 | 16/07/2018 | 00:30 | 22,36  | 3,5    | 0,063  |
| 49898 | 16/07/2018 | 01:00 | 21,96  | 3,5    | 0,063  |
| 49928 | 16/07/2018 | 01:30 | 21,51  | 3,5    | 0,063  |
| 49958 | 16/07/2018 | 02:00 | 21,08  | 6,9    | 0,063  |
| 49988 | 16/07/2018 | 02:30 | 20,62  | 3,5    | 0,063  |
| 50018 | 16/07/2018 | 03:00 | 20,23  | 3,5    | 0,063  |
| 50048 | 16/07/2018 | 03:30 | 19,83  | 3,5    | 0,063  |
| 50078 | 16/07/2018 | 04:00 | 19,45  | 3,5    | 0,063  |
| 50108 | 16/07/2018 | 04:30 | 19,16  | 3,5    | 0,063  |
| 50138 | 16/07/2018 | 05:00 | 18,83  | 3,5    | 0,063  |
| 50168 | 16/07/2018 | 05:30 | 18,54  | 6,9    | 0,063  |
| 50199 | 16/07/2018 | 06:00 | 18,26  | 3,5    | 0,063  |
| 50229 | 16/07/2018 | 06:30 | 17,99  | 6,9    | 0,063  |
| 50259 | 16/07/2018 | 07:00 | 17,78  | 13,9   | 0,25   |
| 50289 | 16/07/2018 | 07:30 | 17,79  | 27,8   | 0,5    |
| 50319 | 16/07/2018 | 08:00 | 18,06  | 159,7  | 2,938  |
| 50349 | 16/07/2018 | 08:30 | 20,44  | 239,6  | 4,313  |
| 50379 | 16/07/2018 | 09:00 | 23,56  | 319,5  | 5,75   |
| 50409 | 16/07/2018 | 09:30 | 25,31  | 392,4  | 7,063  |
| 50439 | 16/07/2018 | 10:00 | 27,06  | 454,9  | 8,188  |
| 50469 | 16/07/2018 | 10:30 | 28,94  | 507    | 9,188  |
| 50481 | 16/07/2018 | 11:30 | 31,22  | 579,9  | 10,438 |
| 50511 | 16/07/2018 | 12:00 | 32,78  | 590,3  | 10,625 |
| 50541 | 16/07/2018 | 12:30 | 33,47  | 586,8  | 10,625 |
| 50571 | 16/07/2018 | 13:00 | 33,92  | 569,5  | 10,25  |
| 50601 | 16/07/2018 | 13:30 | 34,13  | 552,1  | 9,938  |
| 50631 | 16/07/2018 | 14:00 | 34,51  | 503,5  | 9      |
| 50661 | 16/07/2018 | 14:30 | 34,92  | 451,4  | 8,125  |
| 50691 | 16/07/2018 | 15:00 | 35,55  | 388,9  | 7,063  |
| 50721 | 16/07/2018 | 15:30 | 35,95  | 319,5  | 5,75   |
| 50751 | 16/07/2018 | 16:00 | 34,86  | 52,1   | 0,938  |
| 50781 | 16/07/2018 | 16:30 | 33,42  | 31,3   | 0,625  |
| 50811 | 16/07/2018 | 17:00 | 32,12  | 20,8   | 0,375  |
| 50841 | 16/07/2018 | 17:30 | 30,76  | 6,9    | 0,063  |
| 50871 | 16/07/2018 | 18:00 | 29,59  | 3,5    | 0,063  |
| 50901 | 16/07/2018 | 18:30 | 28,73  | 3,5    | 0,063  |
| 50931 | 16/07/2018 | 19:00 | 28,07  | 3,5    | 0,063  |

Tabela 5 – Dados do Arduíno no Excel



| 1    | DIA    | HORA  | RAD   |
|------|--------|-------|-------|
| 6743 | 16/jul | 00:00 | 0     |
| 6749 | 16/jul | 00:30 | 0     |
| 6755 | 16/jul | 01:00 | 0     |
| 6761 | 16/jul | 01:30 | 0     |
| 6767 | 16/jul | 02:00 | 0     |
| 6773 | 16/jul | 02:30 | 0     |
| 6779 | 16/jul | 03:00 | 0     |
| 6785 | 16/jul | 03:30 | 0     |
| 6791 | 16/jul | 04:00 | 0     |
| 6797 | 16/jul | 04:30 | 0     |
| 6803 | 16/jul | 05:00 | 0     |
| 6809 | 16/jul | 05:30 | 0     |
| 6815 | 16/jul | 06:00 | 0     |
| 6821 | 16/jul | 06:30 | 0,491 |
| 6827 | 16/jul | 07:00 | 8,21  |
| 6833 | 16/jul | 07:30 | 20,73 |
| 6839 | 16/jul | 08:00 | 74,86 |
| 6845 | 16/jul | 08:30 | 227,8 |
| 6851 | 16/jul | 09:00 | 312,6 |
| 6857 | 16/jul | 09:30 | 389,4 |
| 6863 | 16/jul | 10:00 | 456,4 |
| 6869 | 16/jul | 10:30 | 514,1 |
| 6875 | 16/jul | 11:00 | 555,2 |
| 6881 | 16/jul | 11:30 | 585   |
| 6887 | 16/jul | 12:00 | 596,1 |
| 6893 | 16/jul | 12:30 | 592,4 |
| 6899 | 16/jul | 13:00 | 573,9 |
| 6905 | 16/jul | 13:30 | 540,2 |
| 6911 | 16/jul | 14:00 | 489,5 |
| 6917 | 16/jul | 14:30 | 427,9 |
| 6923 | 16/jul | 15:00 | 357,4 |
| 6929 | 16/jul | 15:30 | 275,9 |
| 6935 | 16/jul | 16:00 | 44,78 |
| 6941 | 16/jul | 16:30 | 27,35 |
| 6947 | 16/jul | 17:00 | 16,81 |
| 6953 | 16/jul | 17:30 | 3     |
| 6959 | 16/jul | 18:00 | 0     |
| 6965 | 16/jul | 18:30 | 0     |

Tabela 6 – Dados do CR1000 no Excel

Com os dados mostrados nas tabelas acima foi possível elaborar as curvas, conforme mostrado na Figura 11, que nos permite uma verificação preliminar de funcionamento do dispositivo. Estas curvas são de respostas do radiômetro obtidas no protótipo em comparação com a obtida no CR1000 para um dia ensolarado em junho de 2018.

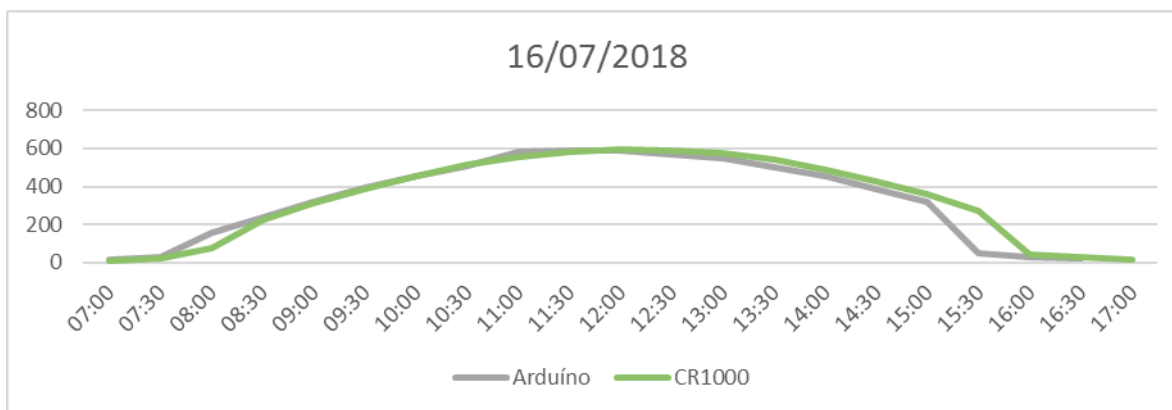


Figura 11 – Curva de resposta do radiômetro obtidas no protótipo desenvolvido em comparação com a curva obtida simultaneamente no CR1000.

Observa-se que existe uma pequena diferença de valores entre as duas curvas isso se deve provavelmente a falta de sincronismo entre os dois sistemas de medição. Cada sistema de aquisição de dados possui um relógio interno independente e com precisões diferentes, podem haver um erro quando a sincronização entre as medidas é feita manualmente.

Na figura 12 podemos observar a curva da temperatura dentro do protótipo. Estes dados foram obtidos com o sensor LM35 com a finalidade de avaliar o efeito da temperatura no desempenho do protótipo, porém a sua variação durante a medição não foi significativa, o que não permite concluir se afeta o desempenho do Arduino. Teste relacionado com a dependência com a temperatura deverão ser realizados no futuro, considerando que durante os meses de verão ela poderá atingir valores bem maiores.

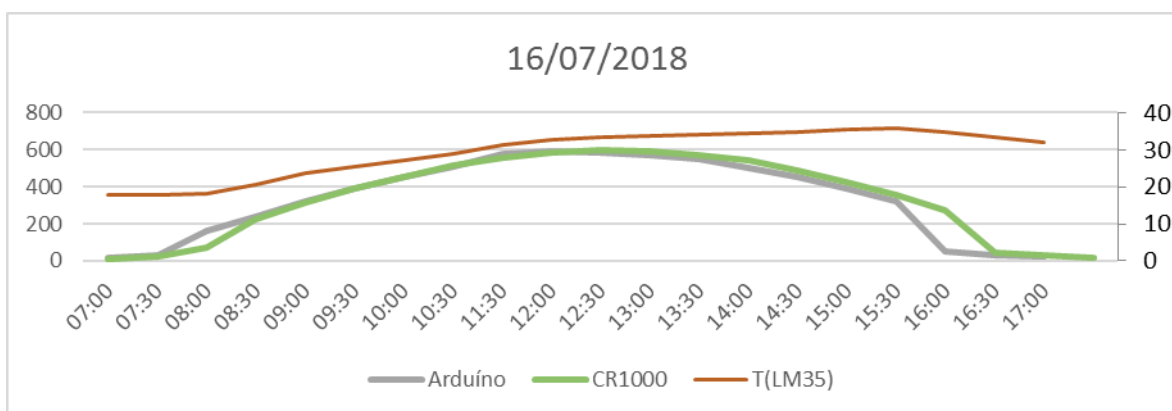


Figura 12 – Curvas da irradiância solar comparadas com a temperatura dentro do protótipo.



## 5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido durante o período de iniciação científica teve como principal objetivo desenvolver um sistema de aquisição de baixo custo (Arduíno) e que tenha um funcionamento compatível com um sistema comercial, como por exemplo o CR1000. Para a comparar o desempenho do sistema desenvolvido com o CR1000 eles foram instalados em paralelo fazendo leituras simultâneas de um mesmo sensor de radiação solar. Também foram acoplados outros sensores ao protótipo como o de temperatura e umidade com o objetivo de avaliar a dependência do protótipo com estas grandezas.

Com base nos testes preliminares podemos concluir que o sistema desenvolvido apresenta uma funcionalidade compatível com os sistemas comerciais, porém testes de funcionamento em campo deverão ser realizados para determinar a sua confiabilidade.

O protótipo desenvolvido apresenta a vantagem de possuir um sistema de armazenamento de dados em um cartão de memória do tipo microSD o que facilita a sua utilização em locais onde não há sistema de telemetria, porém o atual protótipo não permite o acesso remoto, o que limita a sua aplicação em sítios próximos aos usuários do sistema.

Assim, pode-se afirmar que o protótipo necessita de algumas melhorias para que possa ser utilizado como um sistema de aquisição de dados semelhante ao CR1000.



## 6. TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes trabalhos são previstos para dar continuidade ao protótipo:

- Ensaios em laboratório com o protótipo para determinar a confiabilidade do sistema desenvolvido.
- Correção de problemas já detectado no protótipo desenvolvido
- Calibrar o sistema
- Testes em campo com o protótipo durante um período longo.
- Implementar as correções identificadas durante o período de teste.
- Comparar os dados adquiridos em campo pelo protótipo com os mesmos dados adquiridos com um sistema comercial.
- Montar um novo protótipo para uso contínuo em uma estação de coleta de dados ou para ser um cabeça de série em caso de uma transferência tecnológica para a iniciativa privada.



## 7. REFERÊNCIAS

- Vilela, W. A. *Estudo, Desenvolvimento e Caracterização de Radiômetros para Medidass da Radiação Solar*; Tese de Doutorado - INPE. São José dos Campos - SP, 2010.
- Berni, L. A.; Vilela, Waldeir Amaral; Beloto, A. F.; Beloto, A.F.. Otimização da ótica de entrada por traçado de raios no desenvolvimento de um radiômetro UV. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. II, p. 01-07, 2011.
- Neves, G. M. *Influência do Espectro da Radiação Solar em Módulos Fotovoltaicos*, Dissertação de Mestrado - INPE. São José dos Campos - SP, 2016.
- Fornari C. I. ; *Unidade de Monitoramento Ambiental para o Estudo da Irradiância Solar e de Sensores*, Dissertação de Mestrado - INPE, São José dos Campos – SP, 2013.
- Ferreira, T. A. ; Berni, L. A. ; Paes, T. F. ; Vilela, W. A. ; Beloto, A. F. . Sistema para Caracterização Espectral de Dispositivos Fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 3, p. 47-53, 2012.
- Medeiros, Josenei Godoy. *Sistema Embarcado com Arduíno para Coleta de Dados em um Foguete Expeerimental*, Setor de Tecnologia Universidade do Paraná. Disponível em: [http://www.prppg.ufpr.br/site/pesquisa/documentos\\_pesquisa/](http://www.prppg.ufpr.br/site/pesquisa/documentos_pesquisa/); Consultado em julho 2017.
- <http://pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>, consultado em junho de 2017.
- <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2004/043535.pdf>, Consultado em junho 2017
- Pereira, Enio Bueno, et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar. 1ª*. São José dos Campos : INPE, 2006. ISBN 978-85-17-00030-0.
- World Meteorological Organization;. “*Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 7ª*. s.l. : Chairperson, Publications Board, 2008. ISBN 978-92-63-10008-5.
- Paltridge, G. W. e Platt, C. M. R. *Radiative Processes in Meteorology and Climatology*. New York : Elsevier Scientific Publishing Company, 1976. Vols. Developments in Atmospheric Science nº 5. ISBN 0-444-41444-4.



- MCROBERTS, M, Arduino Básico, v.2, 2015

#### 7.1 Sites consultados:

1. Aquisição de dados: <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados> (acesso 13/07/2018)
2. Arduino: <http://arduino.cc> (acesso 13/07/2018)
3. CR1000: <https://www.campbellsci.com.br/cr1000> (acesso 13/07/2018)
4. Sensores: <https://www.filipeflop.com/> (acesso 22/07/2018)