



**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)**

Lucas Campioni Rodrigues Porto (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: lucas.porto@inpe.br

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

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

INPE-SJC

Julho de 2019



RESUMO

Este trabalho de Iniciação Científica teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados ambientais de baixo custo. O projeto teve duas fases sendo que na primeira fase do projeto o protótipo desenvolvido apresentou vários problemas de funcionalidades que exigiram adotar uma série de modificações no projeto original. Este relatório contempla principalmente a segunda fase do projeto, mas a descrição do projeto e a metodologia adotada é a mesma apresentada na primeira fase. O sistema de aquisição de dados ambientais aqui proposto tem como principal característica o baixo custo, por isso, foi utilizado uma plataforma Arduino UNO que é disponível no mercado nacional a baixo custo. O sistema terá como aplicação a 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.



LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

PCDs	Plataformas de Coleta de Dados
ADC	Conversor analógico - digital
NTC	Coeficiente Negativo de Temperatura
T _c	Temperatura em °C
S _{LM35}	Valor do Sensor LM35
S	Saída do Radiômetro
K	Constante calibração
ϕ	Fluxo da radiação incidente
R	Resolução
V _{dc}	Tensão
b	bits do Arduino
P	Período Suportado
M	Memória do Cartão SD
D	Dados armazenados por tempo



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de Aquisição de dados	9
Figura 2 - CR1000	112
Figura 3 - Arduino Uno e suas principais partes	123
Figura 4 - RTC.....	123
Figura 5 - LM35	145
Figura 6 - DHT11	167
Figura 7 - Radiômetro	178
Figura 8 - Nanoshield ADC.....	179
Figura 9 - Nanoshield MicroSD	190
Figura 10 – Circuito.....	Erro! Indicador não definido. 1
Figura 11 – Circuito Esquemático	Erro! Indicador não definido.
Figura 12 – Modelo PCB.....	Erro! Indicador não definido. 2
Figura 13 – Placa Final	Erro! Indicador não definido.
Figura 14 – Inteface do smartphone com o aplicativo Serial Bluetooth	Erro! Indicador não definido.
Figura 15 – Gráfico com o RTC DS1307.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 16 – Gráfico com o RTC DS1307	Erro! Indicador não definido.
Figura 17 – Gráfico com o RTC DS3231 em temperatura maior ou igual de 40°C	Erro! Indicador não definido.
Figura 18 – Gráfico com o RTC DS3231 em temperatura abaixo de 40°C.	Erro! Indicador não definido.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do RTC	13
Tabela 2 – Especificação do Sensor de temperatura LM35	14
Tabela 3 - Especificações do DHT11	16
Tabela 4 - Armazenamento de Dados por tempo	19
Tabela 5 – Dados do Arduíno no Excel.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6 – Dados do CR1000 no Excel.....	Erro! Indicador não definido.



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	OBJETIVOS.....	8
3.	METODOLOGIA.....	9
3.1	Aquisição de dados	9
3.2	CR1000	10
3.3	A plataforma Arduino	11
3.4	RTC.....	12
3.5	Sensores	13
3.5.1	LM35	13
3.5.2	DHT11	15
3.5.3	Radiômetro	16
3.6	ADC	18
3.7	MicroSD.....	18
3.8	Placa de circuito Impresso	18
4.	RESULTADOS	20
5.	CONCLUSÃO.....	26
6.	TRABALHOS FUTUROS	27
7.	REFERÊNCIAS	28
7.1	Teses e artigos.....	28
7.2	Sites.....	28



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).

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 todos 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.

Nessa continuação do trabalho, também houve a passagem do circuito para uma placa de circuito impresso, o que acabou com todos os fios que passam pelo protótipo e ajuda também num melhor desempenho, diminuindo perdas e outras interferências.

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 fáceis 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 tênue 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. Uns conversores 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, devido a sua versatilidade e ao seu tamanho reduzido.

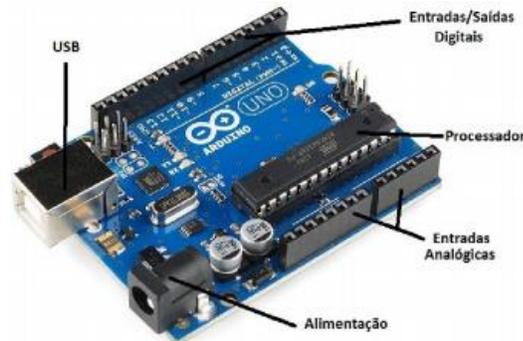


Figura 3 - Arduino Uno e suas principais partes

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:



- 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.

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

Tabela 1 - Especificações do RTC

FONTE: Filipeflop, 2018

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°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



Para a leitura do LM53 pelo Arduíno, foi utilizado na programação a equação abaixo, que converte o sinal do sensor em graus Celsius.

$$T_c = \frac{S_{LM35} * 5 * 100}{1024}$$

Onde:

T_c é a temperatura em °C,

S_{LM35} é o valor da 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.

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.

Especificações do DHT11	
Faixa de medição de umidade	20 a 90% UR
Faixa de medição de temperatura	0° a 50°C
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 °C
Tempo de resposta	2s
Dimensões	23 x 12 x 5mm (incluindo terminais)

Tabela 3 - Especificações do DHT11

FONTE: Filipeflop, 2018

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

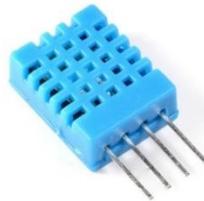


Figura 6 - DHT11

FONTE: Filipeflop, 2018

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. O sinal na saída deste sensor é dado pela expressão abaixo:

$$S = K\phi$$

Onde S é o sinal de saída do sensor; K é a constante de calibração do sensor e ϕ é o fluxo da radiação incidente. Neste projeto, utilizamos um radiômetro com sensibilidade de $k = 17,8\mu\text{V}/\text{Wm}^2$,



Figura 7 – Radiômetro

FONTE: Autor, 2018

Mas ele não é recomendável o uso sem um auxiliar, pois a sua leitura mínima não é aceitável para o Arduíno, sendo um valor abaixo do necessário para que o hardware possa interpretá-lo, de acordo com a formula de resolução.

$$R = \frac{Vdc}{2^b}$$

Onde R é a resolução em Vmin do Arduíno; Vdc é a tensão utilizado no projeto (5V) e b é o bits do Arduíno (10bits). Resultando num valor de 4,8mV, ou seja, o Arduíno só entenderá como sinal, valores acima de 4,8mV, que não acontece com o radiômetro, até que ele chegue a esse valor ou acima dele, sendo que o máximo para o radiômetro utilizado é de 17,8mV. Para isso, utilizou-se um ADC para aumentar a resolução do radiômetro para que

fosse possível a comunicação dele com o Arduíno.

3.6 ADC

O Nanoshield ADC tem a função de conversão analógico-digital com grande resolução, ou quando é necessário expandir o número de entradas analógicas do micro controlador. Implementado com o CI ADS1115, o Nanoshield ADC é ideal para aplicações como leitura de sensores industriais de temperatura, pressão, umidade, entre outros, além de monitoramento de bateria, tensões de alimentação, ou qualquer outro projeto que necessite de conversão analógico-digital com alta qualidade.

O Nanoshield ADC possui 4 entradas analógicas independentes. Esse componente pode ser utilizado para leitura de tensões absolutas (a tensão presente no canal é medida em relação ao GND do módulo), na qual foi necessário para a conexão do radiômetro com o Arduíno.

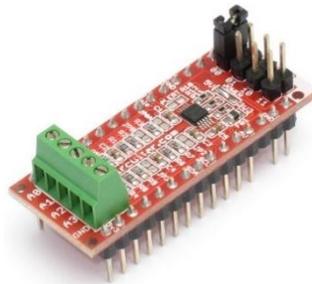


Figura 8 - Nanoshield ADC

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. Essa é a interface utilizada no Nanoshield MicroSD, permitindo que o hardware SPI disponível no micro controlador (Arduino) 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

FONTE: Filipeflop, 2018

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

$$P = \frac{M}{D}$$

Onde:

P é o período suportado;

M é a memória do cartão;

D é os dados por tempo calculados na tabela 4.

3.8 Placa de circuito impresso

A placa de circuito impresso foi desenvolvida com o uso do programa Fritzing, que é um software aberto, que disponibiliza várias formas de criar projetos de circuitos eletrônicos e placas de circuitos impresso.

Inicialmente foi adicionado os componentes eletrônicos e feito as conexões, como a imagem a seguir:

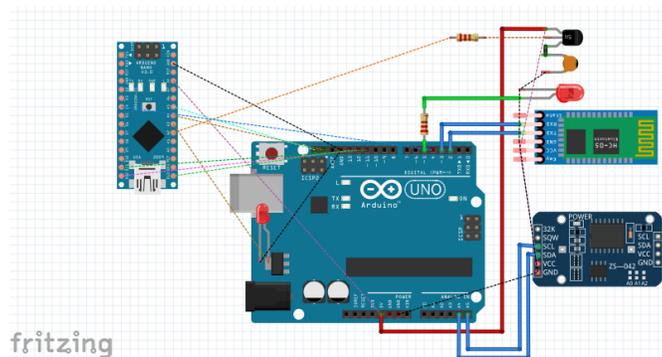


Figura 10 – Circuito

Em seguida, foi feita a passagem para o circuito esquemático, o que nos resultou no esquema abaixo:

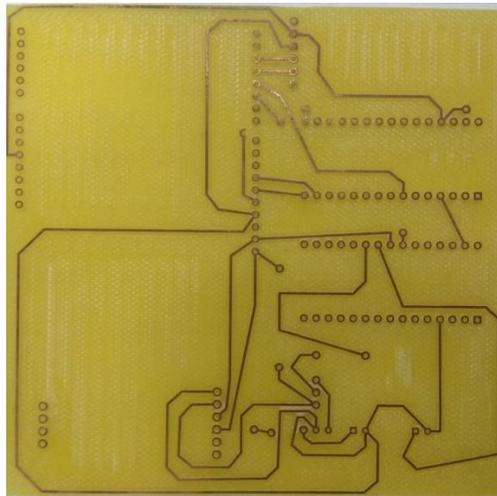


Figura 13 – Placa Final

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. Nesta segunda fase do projeto foi de aprimorar o sistema, resolver uma série de problemas detectados nos primeiros testes e a acoplá-lo a uma PCD em paralelo com um *datalogger* comercial importado (CR1000), e verificar se os dados adquiridos são semelhantes e se atendem os quesitos de qualidade para serem aproveitados com segurança em projetos de pesquisa científica.

Com os resultados satisfatórios, o protótipo inicialmente montado em “protoboard” foi transferido para uma placa de circuito impresso, reduzindo assim possíveis problemas de mal contato detectado nos testes iniciais.

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

O protótipo foi conectado em paralelo com o CR1000 para aquisição de sinal de um mesmo piranômetro. Com os dados coletados desta maneira foi possível uma verificação preliminar de funcionamento do dispositivo em campo. Foi realizada a mudança do RTC, pois o sistema apresentou problema de sincronização entre o CR1000 e o Arduino. O RTC DS1307 utilizado na primeira versão do protótipo foi substituído pelo DS3231. O novo RTC é mais preciso que o anterior.

Para verificar se o sistema estava fazendo a aquisição de dados de forma correta, foi necessário acoplar um módulo bluetooth para transmissão dos dados em tempo real utilizando um aparelho de telefone móvel (celular) com o aplicativo Android “Serial

Bluetooth Terminal”.

Na figura 14, podemos observar como o aplicativo “Serial Bluetooth Terminal” mostra os valores que o protótipo adquire na torre em tempo real no celular. Os dados no celular não podem ser salvos, apenas disponível para visualização enquanto estiverem conectados. Os dados na tela do celular são representados na seguinte ordem: horário da aquisição; temperatura dentro da caixa, irradiância solar e tensão.

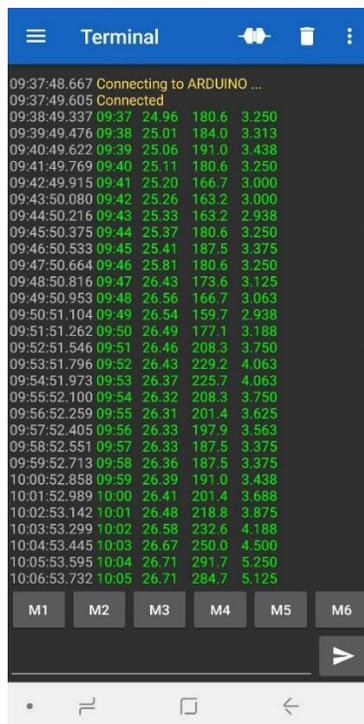


Figura 14 - Interface do smartphone com o aplicativo Serial Bluetooth Terminal

Comparando os dados obtidos no protótipo com os obtidos no CR1000 e foi observado uma diferença de sincronização. O horário de coleta do dado registrado no protótipo apresentava ligeira diferença em relação ao mesmo horário registrado no CR1000. Com base nisso, foi realizado um teste de aquisição de dados nos dois dispositivos durante sete dias consecutivos. O objetivo deste teste foi determinar se a diferença de horário era um erro sistemático e progressivo devido, por exemplo, a atrasos no relógio do protótipo ou se era um erro aleatório devido a outros fatores.

No teste realizado, observou-se que ocorreu um atraso acumulado durante os sete dias de 15 min. Concluiu-se que este erro era devido ao RTC DS1307 que é sensível a temperaturas mais altas, com isso, optou-se por pela mudança do RTC para o DS3231 que tem um sensor de temperatura interna que corrige o tempo com

a variação da temperatura. Na figura 6, pode-se observar a diferença de sincronismo de tempo nos dois RTCs.

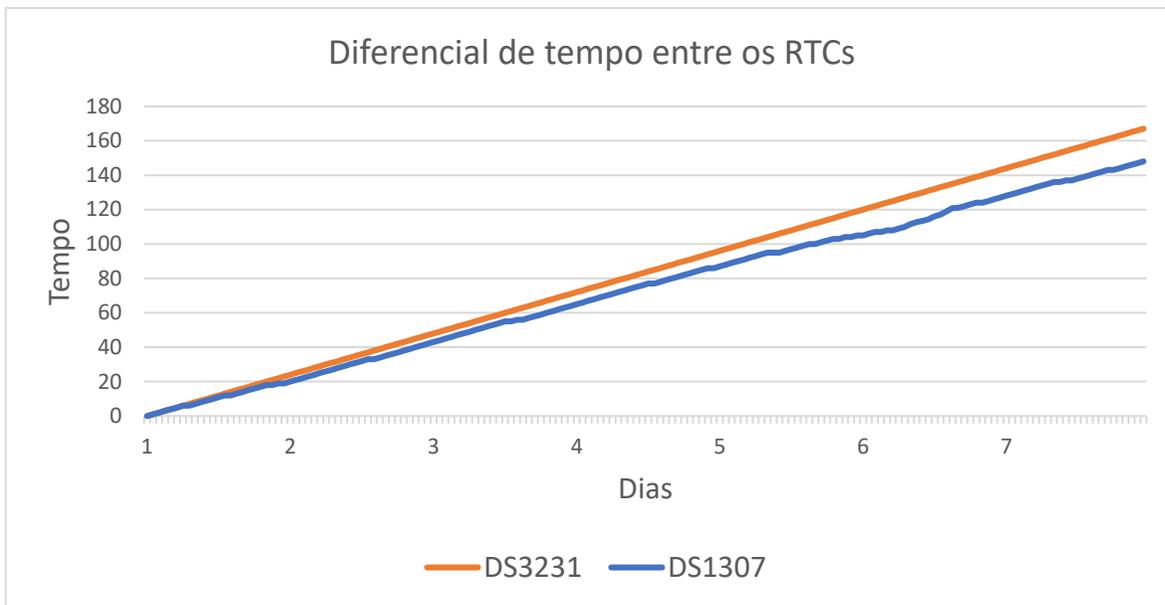


Figura 15 - Gráfico com o RTC DS1307.

Com a troca dos RTCs pode-se observar que houve uma melhora nos dados em relação a sincronização, não apresentando mais a diferença entre os tempos de medições.

Na curva da irradiância medida pelo protótipo pode-se observar que houve várias alterações nos valores da intensidade comparadas com as mesmas medidas pelo CR1000. Este fato pode ser devido a problemas internos do Arduino, por exemplo, o efeito da temperatura, considerando que o Arduino em campo operou numa temperatura elevada por um longo período.

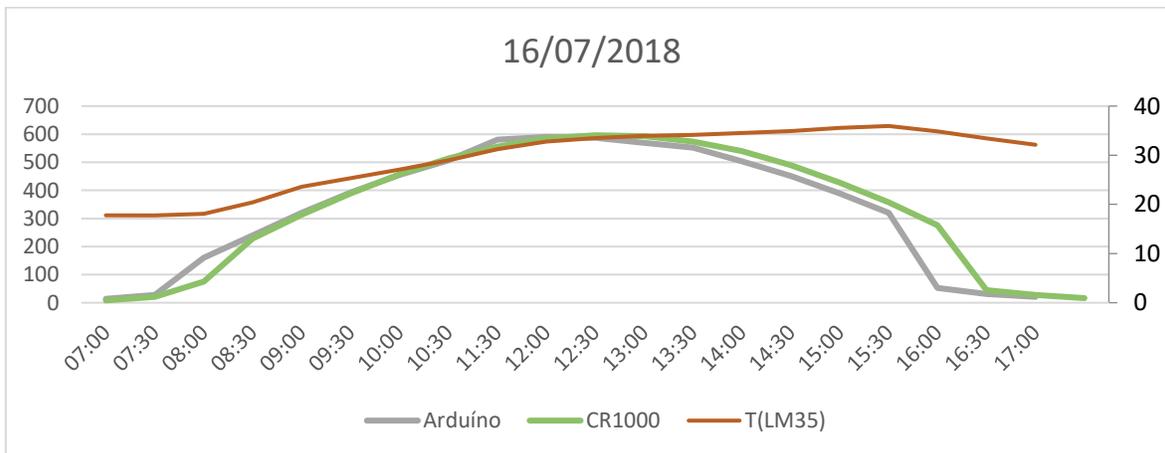


Figura 16 - Gráfico com o RTC DS1307.

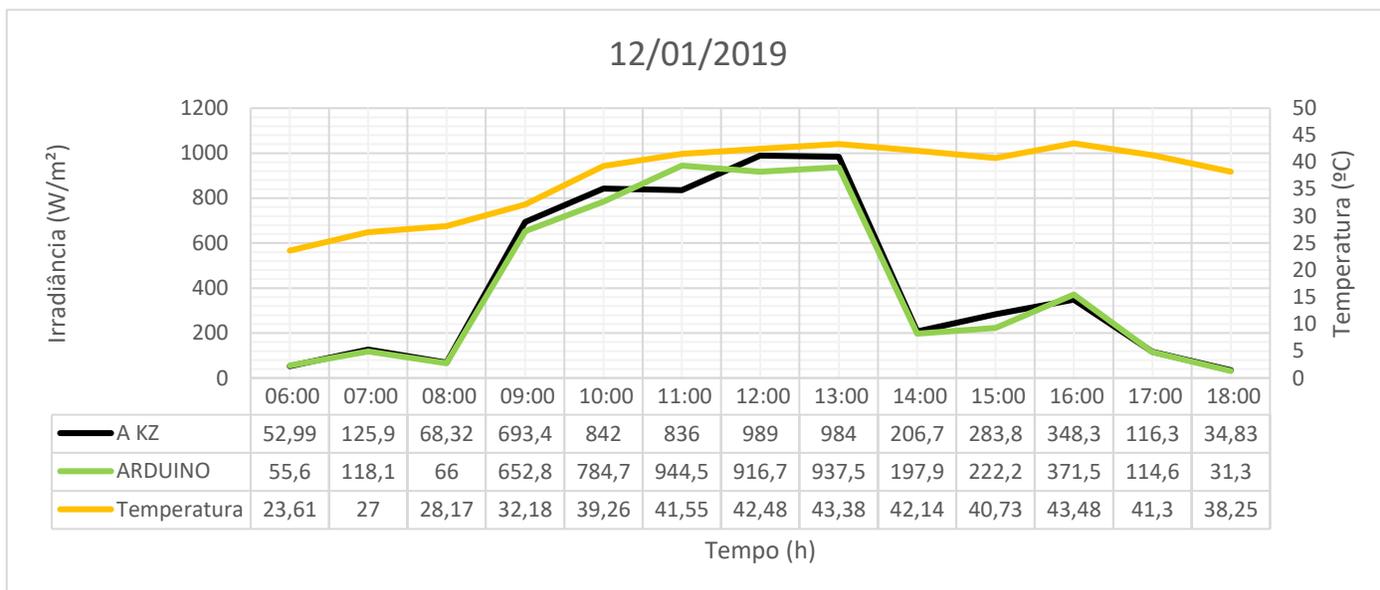


Figura 17 - Gráfico com o RTC DS3231 em temperatura maior ou igual de 40°C.

Dados de irradiância obtidos no protótipo com temperaturas acima de 40°C apresentaram diferenças de até 100W/m² em relação a mesma medida feita no CR1000, enquanto medições obtidas abaixo de 40°C, não apresentaram grandes diferenças. A análise dos dados em relação a temperatura das medições indica a necessidade de controlar a temperatura do protótipo para que ela se mantenha em níveis aceitáveis.

Na figura 15 e 16 podem ser observados esse comportamento.

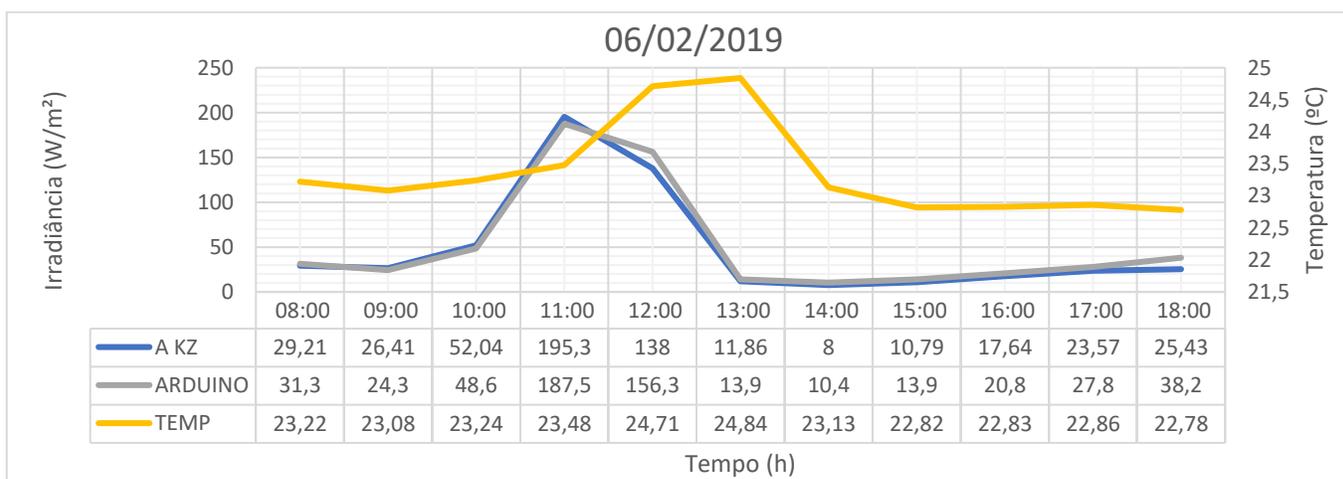


Figura 18 - Gráfico com o RTC DS3231 em temperatura abaixo de 40°C.



5. CONCLUSÃO

Com base nos testes, o sistema demonstrou cumprir as funções prevista no projeto, obtendo os valores similares ao CR1000, que pode ser verificado através de gráficos plotados. Verificou-se também que o sistema pode realizar aquisições por longos períodos com armazenamento dos dados em um cartão micros de 1Gb, não precisando verificar diariamente, podendo simplesmente coletar os dados salvos no arquivo .txt, salvar, e devolver o cartão para o sistema, dando seguimento a coleta no mesmo arquivo.

O sistema ainda precisa de alguns ajustes antes de sua finalização, como a passagem para a placa de circuito impresso desenvolvida e um ajuste na parte da aquisição dos dados, que até o momento está sendo muito limitado ao uso do cartão SD.



6. TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes trabalhos são previstos para dar continuidade ao projeto:

- Realizar a passagem dos componentes para a nova placa de circuito impresso.
- Melhorar o sistema de armazenamento e disponibilização de dados



7. REFERÊNCIAS

7.1 Teses e artigos

- MCROBERTS, M, Arduino Básico, v.2, 2015
- VILELA, W. A. Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos - SP, 2010.

7.2 Sites

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)