



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



DESENVOLVIMENTO DE CÂMERA MULTIESPECTRAL PARA OPERAR EM EROMODELOS

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

Lucas Barbosa Rocha (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: lucas_barbosa_rocha@hotmail.com

Dr. João Gualberto de Cerqueira Júnior (CRN/INPE, Orientador)
E-mail: jgcjunior@crn2.inpe.br / jgcjunior@gmail.com

Julho de 2016

**DESENVOLVIMENTO DE CÂMERA MULTIESPECTRAL PARA
OPERAR EM EROMODELOS**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESENVOLVIMENTO DE CÂMERA MULTIESPECTRAL PARA OPERAR EM EROMODELOS

Lucas Barbosa Rocha

Relatório final do projeto de iniciação científica
Desenvolvimento de câmera multiespectral para
operação em eromodelos (drones), orientado pelo
Tecnologista Dr. João Gualberto de Cerqueira
Júnior.

INPE/CRN
2016

RESUMO

O projeto de Iniciação Científica *Desenvolvimento de câmera multiespectral para operar em eromodelos*, foi iniciado em 2015 pelo bolsista PIBIC Lucas Barbosa Rocha (UFRN) orientado pelo Tecnologista Sênior João Gualberto de Cerqueira Júnior (CRN/INPE). Em virtude da dificuldade da importação de componentes eletrônicos para a câmera multiespectral, partiu-se para o desenvolvimento de um datalogger, para monitorar parâmetros ambientais, necessário para complementar os dados obtidos com a câmera. O datalogger armazenará a temperatura e umidade do solo, temperatura e umidade do ar, radiação solar e pluviometria em áreas de reflorestamento da Caatinga. O escopo desse projeto engloba desde o projeto de hardware e software dos sensores até a construção de um protótipo PCB, com testes em laboratório e campo.

Os sensores de temperatura do ar e do solo utilizados são fabricados pela Campbell Scientific, o sensor Campbell 108-L, cada um deles é ligado em um amplificador operacional, possibilitando a leitura do arduino e evitando erros significativos devido o nível de quantização.

O sensor de Irradiação solar é o LI-COR quantum; todo o esquemático do circuito já havia sido projetado pelo engenheiro/orientador João Gualberto em trabalhos anteriores e coube ao bolsista desenvolver toda a parte do software. O pluviômetro utilizado foi o SPP-2 da HIDROLOGIA S.A. que, por meio de leituras digitais, realiza a medição da precipitação para qualquer sensor. O sensor de umidade do solo foi construído em laboratório e baseia-se na leitura da resistência elétrica do solo, de forma que, quanto mais úmido estiver, menor será a resistência entre suas hastes.

Todos esses parâmetros medidos pelos sensores citados, são enviados ao arduino onde a informação é salva no cartão SD em formato “.txt”.

Após desenvolvimento das linhas de código, dos testes em laboratório e testes em campo, a segunda parte do projeto, o desenvolvimento da Placa de Circuito Impresso, foi iniciada. Para isso, foi utilizado o software CadSoft EAGLE onde todo o esquemático criado em protoboard foi transferido e o layout da placa foi criada, objetivando um circuito mais compacto e que pudesse sofrer menos interferência externa.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RTC- Real Time Clock

AD- Analógico/Digital

DA- Digital/Analógico

AMPOP- Amplificador Operacional

GND- Terra

VE- Tensão no emissor

PCB- Placa de Circuito Impresso

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sensor de temperatura Campbell 108-L

Figura 2- Circuito interno do CI LM358

Figura 3- Projeto do AmpOp utilizado para amplificar os sinais de tensão dos sensors de temperatura

Figura 4- Sensor de Irradiação Solar da LI-COR Quantum

Figura 5- Projeto do AmpOp para amplificar os sinais de saída do fotodiodo

Figura 6- Pluviômetro SPP-2

Figura 7- Esquemático do circuito utilizado para leitura de pulsos do pluviômetro

Figura 8- Sensor de umidade desenvolvido em laboratório

Figura 9- Esquemático do circuito combinacional do sensor de umidade

Figura 10- SHIELD SD

Figura 11- Módulo RTC

Figura 12- Esquemático do circuito criado em protoboard no software EAGLE 7.5.0

Figura 13- Layout da PCB

Figura 14- Datalogger sendo testado em campo

Figura 15- Arduino Nano

Figura 16- Sensor de irradiação solar

Figura 17- Sensores de temperatura e umidade do solo

Figura 18- Variação da temperature do ar X tempo

Figura 19- Variação da temperature do solo X tempo

Figura 20- Variação da irradiação solar X tempo

Figura 21- Variação da tensão no emissor do TBJ X tempo

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	09
2- MATERIAL UTILIZADO.....	10
3- DESENVOLVIMENTO DO DATALOGGER	11
3.1- SENSORES DE TEMPERATURA.....	11
3.2- SENSOR DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	14
3.3- SENSOR DE CHUVA (PLUVIÔMETRO).....	16
3.4- SENSOR DE UMIDADE DO SOLO.....	17
4- UTILIZAÇÃO DE SHIELD SD PARA ARDUINO.....	20
5- UTILIZAÇÃO DE UM RTC.....	21
6- DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	22
6.1- O CÓDIGO.....	22
7- CONFECÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.....	23
8- CONCLUSÃO.....	25
8.1- TESTES FINAIS E OPERAÇÃO EM CAMPO.....	25
8.2- ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	30
8.2.1- TEMPERATURA DO AR.....	30
8.2.2- TEMPERATURA DO SOLO.....	31
8.2.3- IRRADIAÇÃO SOLAR.....	31
8.2.4- UMIDADE DO SOLO.....	32
8.2.5- PLUVIOSIDADE.....	33
9- REFERÊNCIAS.....	34

1- INTRODUÇÃO:

Este trabalho, iniciado em agosto de 2015 pelo bolsista Lucas Barbosa Rocha (UFRN) orientado pelo Tecnologista Sênior Dr. João Gualberto de Cerqueira Júnior (INPE-CRN) tem como objetivo iniciar o projeto de Iniciação Científica “Desenvolvimento de câmeras multiespectrais para operar em eromodelos”. A princípio, o trabalho seria desenvolver as câmeras, porém, devido a necessidade de um aporte maior de recursos por parte da agência financiadora, o projeto de um mini datalogger utilizando arduino foi idealizado para funcionar em conjunto com as câmeras futuramente desenvolvidas.

Enquanto as câmeras estivessem operando embarcadas em drone, o datalogger ficaria em terra medindo parâmetros físicos do solo e alguns parâmetros climáticos, como: temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do solo, pluviosidade e irradiação solar. Assim, teríamos resultados mais elaborados e de melhor análise.

Dessa forma, o bolsista buscou na literatura e após construção de uma base teórica, pôde pôr em prática o funcionamento dos sensores e como eram feitos os cálculos das informações captadas para os diferentes níveis de tensão para leitura analógica (sensores de temperatura, irradiação solar e umidade) e digital (sensor pluviométrico).

Depois disso, foi desenvolvido o código em linguagem C para o software IDE do arduino e, simultaneamente, projetou-se todo o circuito elétrico combinacional em protoboard para fazer a ligação dos sensores para leitura do arduino.

Após essa primeira fase, a segunda parte do projeto foi o desenvolvimento da Placa de Circuito Impresso. Para isso, foi utilizado o software CadSoft EAGLE 7.5.0 onde todo o esquemático criado em protoboard foi transferido e o layout da placa foi criada, objetivando um circuito mais compacto e que pudesse sofrer menos interferência externa.

2- MATERIAL UTILIZADO

1 (uma) placa arduino DCcEle DCcduino uno;
1 (uma) placa arduino Nano;
1 (um) shield de cartão SD;
1 (um) cartão SD;
1 (uma) protoboard;
2 (dois) sensores de temperatura Campbell 108-L;
1 (um) sensor de irradiação solar LI-COR quantum;
1 (um) pluviômetro SPP-2 da HIDROLOGIA S.A.;
1 (um) sensor de umidade do solo desenvolvido em laboratório;
1 (um) transistor 2N3904;
3 (três) amplificadores operacionais de fonte unipolar LM 358;
1 (um) RTC D3231;
1 (um) regulador de tensão 7805;
1 (uma) fonte simples de tensão 9 volts;
1 (um) botão desabilitador;
1 (um) LED;
Resistores e jumpers;
Software do arduino.

3- DESENVOLVIMENTO DO DATALOGGER

3.1- SENSORES DE TEMPERATURA:

O primeiro passo para o desenvolvimento do mini datalogger foi a leitura do datasheet dos sensores de temperatura do ar e do solo Campbell 108-L. Assim, conseguiu-se entender o que significava os seus pinos de saída e seu funcionamento interno.

O sensor é composto por 4 fios de saída: um vermelho, um preto, um lilás e um cinza e suas funções são:



Figura 1 – Sensor de temperatura Campbell 108-L

COR DO FIO	FUNÇÃO DO FIO
PRETO	VOLTAGEM DE EXCITAÇÃO
VERMELHO	SAÍDA ANALÓGICA
LILÁS	TERRA
CINZA	BLINDAGEM

Tabela 1 – Função de cada fio do sensor 108-L

O fio preto deve ser ligado à uma tensão de entrada de 2,5V e os fios cinza e lilás devem ser aterrados. Dessa forma, o sensor começa a medir a temperatura do ambiente e gera uma saída de tensão pelo fio vermelho na ordem de milivolts.

Para excitar o sensor com a tensão de 2,5V, usamos o regulador de tensão 7805 e na saída desse regulador colocamos dois resistores de mesmo valor em série, para que no divisor de tensão, a saída pudesse ser exatamente os 2,5V (a tensão de saída do regulador é 5V). O cálculo da tensão de saída do sensor foi feita da seguinte forma:

$$\frac{V_s}{V_x} = \frac{1000}{R_s + 40000 + 1000}$$

Onde V_s é a tensão do fio vermelho, V_x é a tensão do fio preto e R_s é o valor do thermistor. Onde:

$$R_s = 1000 \cdot \left(\frac{V_x}{V_s} \right) - 41000$$

Com R_s calculado, pode-se medir o valor da temperatura em graus celsius:

$$T_c = (1 / (A + B \cdot \ln(R_s) + C \cdot (\ln(R_s))^3)) - 273.15$$

Com todo o circuito projetado e funcionando, liga-se a saída dos sensores de temperatura (fios vermelho) diretamente nos pinos de entrada analógico A0 e A1 do arduino. Contudo, erros foram registrados na hora da leitura e as medições não foram feitas. Depois de uma análise mais profunda, concluiu-se que o erro estava relacionado com o nível de quantização dos conversores AD/DA do arduino. Como as tensões de saída do sensor são muito baixas, o micro controlador não conseguia fazer a conversão.

Para resolver esse problema, usou-se dois amplificadores operacionais de fonte unipolar, já que só tínhamos uma fonte de +9V para alimentar todo o circuito.

O Circuito Integrado escolhido foi o LM358, já que contém 2 operacionais em interior.

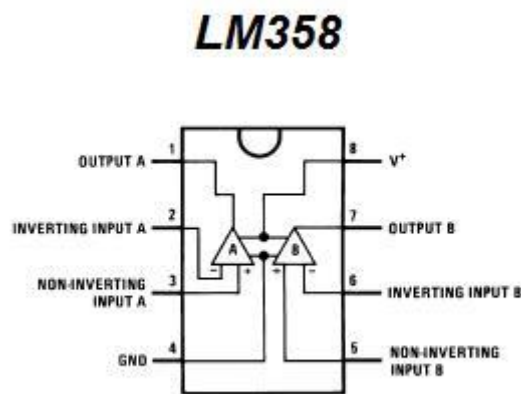


Figura 2- Circuito interno do CI LM358

Após um breve estudo sobre amplificadores, ficou definido que a melhor configuração para o caso seria um Amplificador Não Inversor com resistência de equalização em sua entrada não inversora para diminuir o off-set (tensão prejudicial para a saída do AmpOp). O esquemático ficou da seguinte forma (sem considerar a resistência de equalização):

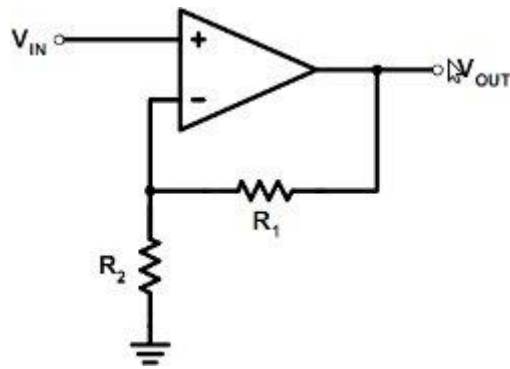


Figura 3- Projeto do AmpOp utilizado para amplificar os sinais de tensão dos sensors de temperatura

Como o máximo de tensão que o arduino consegue ler é +5v, projetou-se o ganho do amplificador para que o Vout não ultrapassasse 95% de 5V, caso contrário o operacional saturaria e as medições ficariam prejudicadas.

Após análises práticas, ficou definido que o ganho deveria ser de aproximadamente 91V/V. Assim, as resistências foram calculadas da seguinte maneira:

$$G = \frac{R1}{R2} + 1$$

Para um R1 = 10kΩ e G = 91,

$$R2 = \frac{R1}{G - 1} = 110\Omega$$

E para um R1= 10kΩ e R2= 110Ω, a resistência de equalização é:

$$Re = \frac{R1.R2}{R1+R2} = 110\Omega$$

A partir desse momento, ligando as saídas dos operacionais nas portas analógicas A0 e A1 do arduino, todas as leituras foram feitas de maneira correta e assim a parte relacionada aos sensores de temperatura estava finalizada.

3.2- SENSOR DE IRRADIAÇÃO SOLAR:

Para o sensor de irradiação solar, foi usado o LI-COR QUANTUM:



Figura 4- Sensor de Irradiação Solar da LI-COR Quantum

Por já ser um sensor antigo e ter saído de circulação há alguns anos, o datasheet da versão usada no datalogger não foi encontrado na internet. Porém como o orientador do projeto já havia trabalhado inúmeras vezes com ele, o esquemático do circuito combinacional já estava criado e foi passado para o bolsista implementá-lo na protoboard.

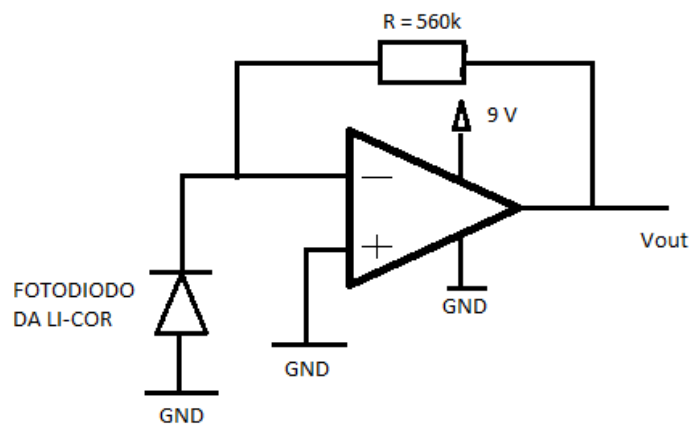


Figura 5- Projeto do AmpOp para amplificar os sinais de saída do fotodiodo mostrado na figura 4

Assim como para o sensor de temperatura, para o de irradiação também teve-se de colocar um operacional LM358 para amplificar o sinal analógico de saída. Porém, dessa vez, o ganho foi de 1800V/V e a resistência R responsável por esse ganho era de 560k Ω (como pode ser visto na imagem acima).

Outra diferença em comparação com o circuito do sensor de temperatura é a porta não inversora é aterrada. Agora, é a porta inversora quem recebe o sinal do fotodiodo da licor (sensor).

A medição desse sensor é dada em $\frac{\mu\text{Mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$.

3.3- SENSOR DE CHUVA (PLUVIÔMETRO):

Esse foi, sem dúvidas, o sensor mais simples de ser elaborado tanto em hardware quanto em software, pois além de ser apenas um simples contador de pulsos, seu circuito operacional se resume a apenas um resistor ligado em uma de suas portas para evitar uma corrente de curto-circuito no microcontrolador.

O sensor utilizado para fazer essa medição foi o pluviômetro da HIDROLOGIA S.A. – SPP-2.

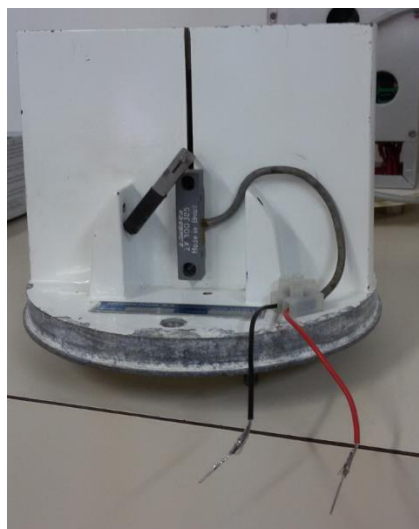


Figura 6- Pluviômetro SPP-2

Ele é composto por dois pêndulos presos entre si por um pequeno ímã. Quando chove, um desses pêndulos, também conhecidos como caçambas, enche com uma certa quantidade de água já conhecida e vira de lado, deixando a outra caçamba virada para cima a espera de ser enchida.

No momento em que caçamba vira, o ímã (objeto de cor preta na foto acima) passa por outro ímã, dessa forma, devido a atração magnética, a chave fecha e um pulso digital é contabilizado na leitura do arduino. A quantidade de pulsos é o que vai indicar quantos milímetros choveu.

Trivialmente, podemos afirmar que quando não chove, não há contagem de pulsos pois os ímãs não passam um pelo outro.

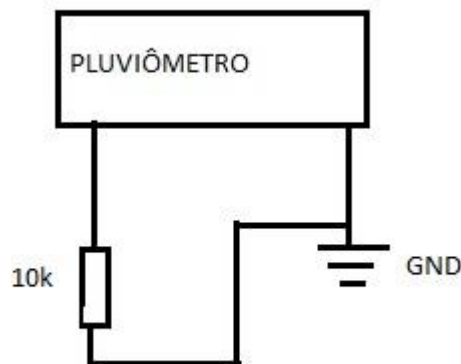


Figura 7- Esquemático do circuito utilizado para leitura de pulsos do pluviômetro da figura 6

3.4- SENSOR DE UMIDADE DO SOLO:

O último sensor projetado foi o de umidade do solo.

O sensor de umidade desenvolvido em laboratório mede a resistência do solo em que está inserido e, dependendo desse valor, chega-se a uma conclusão em relação a umidade do solo.

Geralmente, quando o solo está seco, a resistência é altíssima, o que pode ser considerado um circuito aberto. Por outro lado, quanto mais úmido estiver, menor será sua resistência. Normalmente, a resistência do solo varia de $5k\Omega$ à $1G\Omega$.

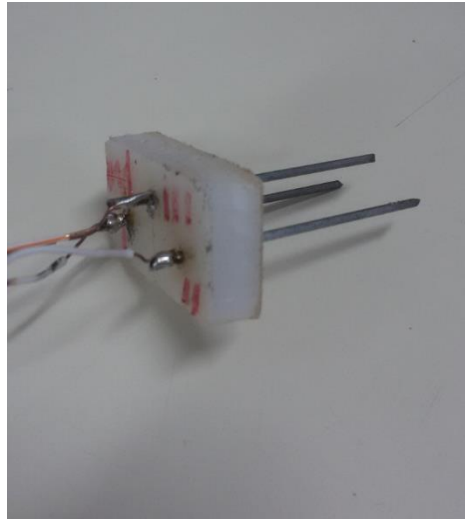


Figura 8- Sensor de umidade desenvolvido em laboratório

A fabricação do sensor foi algo simples de ser feito. Primeiro, pegou-se três hastes de inox de tamanhos iguais que foram fixadas a uma mesma distância em um material isolante, de modo que na parte de baixo (local da medição da resistência) fique o maior comprimento das hastes.

Na parte de cima é o local das pontas de provas do sensor. Duas das três hastes foram curto circuitadas e uma das pontas de prova soldada. A outra ponta de prova ficou na outra haste. A partir desse momento, o sensor funcionava como um potenciômetro que varia sua resistência em função da umidade do solo.

Porém, para fazer a leitura do valor de uma resistência direto no arduino, seriam necessários três pontas de prova e um gerador de seno a ser aplicado no sensor, algo inviável devido sua complexidade. Portanto, a solução dada foi usar um Transistor Bipolar de Junção que variasse o valor de tensão no emissor com a mudança de resistência entre a base e o coletor (resistência essa que seria do solo). O esquemático do circuito ficou da seguinte forma:

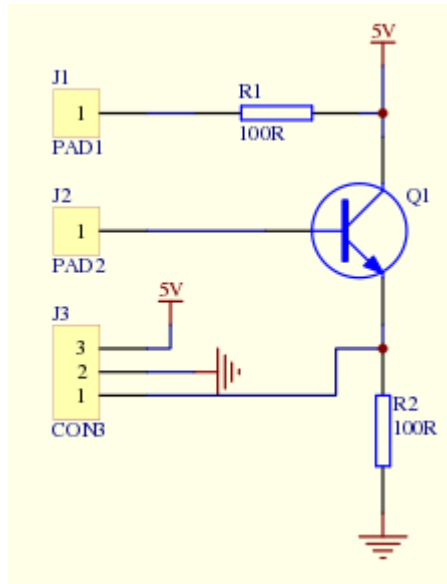


Figura 9- Esquemático do circuito combinacional do sensor de umidade

Com o sensor de umidade ligado entre o PAD1 e o PAD2.

Após a construção do sensor e seu circuito, alimentando-o com +5V, alguns testes com diferentes tipos de solo foram feitos para se ver como a tensão no emissor (V_e) varia com a mudança de resistência, ou seja, mudança na umidade do solo; o resultado é apresentado nas tabelas abaixo:

R(Ω)	Ve(V)	Vce(V)
33(CURTO)	4.23	0.73
5K6	4.06	0.9
10k	3.93	1.04
69k	2.79	2.17
100k	2.39	2.57
200k	1.65	3.31
390k	1.02	3.94
560k	0.76	4.21
1M	0.44	4.52
2M7	0.16	4.8
8M1	0.051	4.91
ABERTO	0.00	4.96

tabela 2 (3).

	R(Ω)	Ve(V)	Vce(V)
SOLO ÚMIDO	5K6 - 10K	3.97	0.99
SOLO SECO	ABERTO	0.00	4.96

Tabelas 2 e 3- Análise para diferentes níveis de umidade no solo, sua resistência e tensões no TBJ (2). E comprovação da análise da

Analisando as tabelas, ver-se o valor da tensão no emissor (Ve) para cada teste realizado e suas diferentes resistências.

Por uma questão de curiosidade, também foi medida a tensão entre o coletor e o emissor do TBJ (Vce).

4- UTILIZAÇÃO DE UM SHIELD SD PARA ARDUINO:

Após todas medições feitas pelo arduino, era necessário acessá-las. Em virtude disso, usou-se um shield para cartão SD no arduino que a cada 5 minutos (ou qualquer outro tempo definido por software) o arduino pega as medições daquele instante e salva no cartão SD em formato “.txt” que pode ser retirado do módulo e ser colocado direto em um PC. O resultado é mostrado da seguinte forma:

HORA – DATA – TEMPERATURA DO AR – TEMPERATURA DO SOLO –
IRRADIAÇÃO SOLAR – PLUVIOSIDADE – UMIDADE

O shield SD para funcionar deve ser ligado a +5V e suas portas SCK, CS E MOSI devem ser conectadas a +3,3V por meio de um divisor de tensão das portas digitais do arduino, como mostrado abaixo:

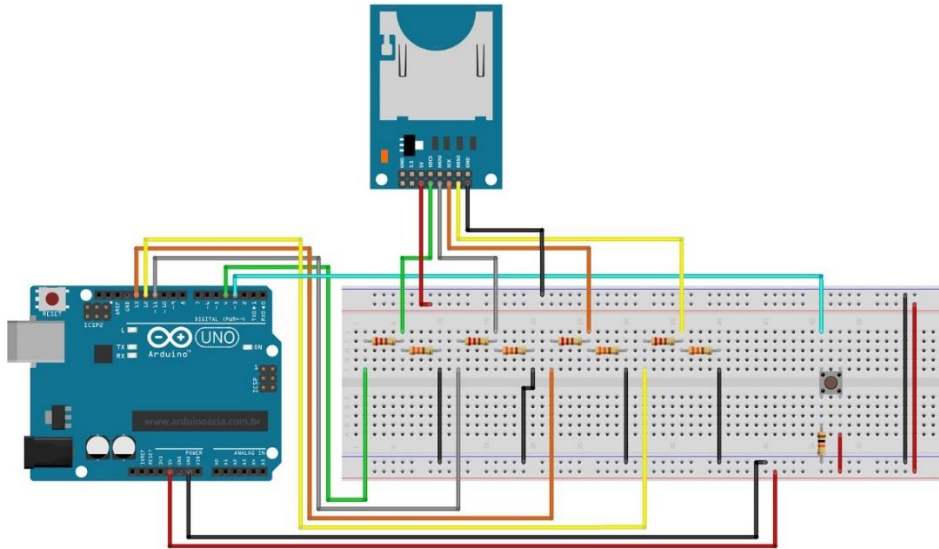


Figura 10- Forma correta de alimentar o SHIELD SD

Após finalizar os esquemáticos, todos os circuitos propostos foram colocados em uma mesma protoboard com um Real Time Clock (RTC) para finalização do modelo experimental.

5- UTILIZAÇÃO DE UM RTC:

O Real Time Clock é um dos módulos mais importantes do datalogger, pois ele é o responsável por marcar a hora e a data que os eventos estão acontecendo.

Essa comunicação com o arduino é feita através da comunicação I2C a qual utiliza as portas SDA e SCL (transmissão de dados e clock) e por meio do software, ajusta-se a hora e a data corretas.



Figura 11- Módulo RTC

6- DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE:

Como dito na introdução desse relatório, toda a parte de hardware citada nas seções anteriores foi elaborada em sintonia com a parte de software. Nessa seção, busca-se explorar um pouco mais a lógica de todo o processo da geração e gravação de dados.

O primeiro passo é baixar o software por meio do site oficial do arduino. Depois disso, o código se divide em três partes primordiais: declaração de variáveis, setup e loop. O void setup só é compilado uma vez pelo arduino, enquanto o void loop se repete inúmeras vezes até o momento em que o datalogger é desligado.

Vale ressaltar que o desligamento do datalogger tem que ser feito de forma segura, desabilitando um botão que fica na placa. Caso esse botão não seja acionado, todos os dados medidos serão perdidos.

6.1- O CÓDIGO:

```
#inlui bibliotecas SD e WIRE;
```

```
#definição de constantes;
```

```
//Ativação da biblioteca do SD;
```

```
//Criação do arquivo no SD;
```

```
//Declaração de variáveis;
```

```

//Conversão de valores para ativação do RTC;

void setup() {

//Início da comunicação serial;
//Definição da hora e data correta no RTC;
//Definição dos modos dos pinos digitais;
//Definição dos modos dos pinos analógicos;

//Inicialização do contador;
//Inicialização da abertura do SD;
//Recebimento do RTC da hora e data correta (parte lógica);
}

void loop() {
//Medição de dados dos sensores;
//Grava os dados no cartão de memória a cada tempo pré-definido;

}
}

//Desabilitação do datalogger;
//FIM DO CÓDIGO;
}

```

O código final totalizou 193 linhas de comando.

7- CONFECÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO:

Com o datalogger em perfeito funcionamento, é o momento de projetar a Placa de Circuito Impresso. É a partir dessa placa que o datalogger poderá se transformar em um equipamento real para ser utilizado em campo para quaisquer condições naturais.

Utilizando o software EAGLE 7.5.0, a primeira parte do desenvolvimento da placa é fazer seu esquemático passando todo o circuito que estava em protoboard para o PC usando a biblioteca do próprio software. Para esse datalogger, o esquemático ficou dessa forma:

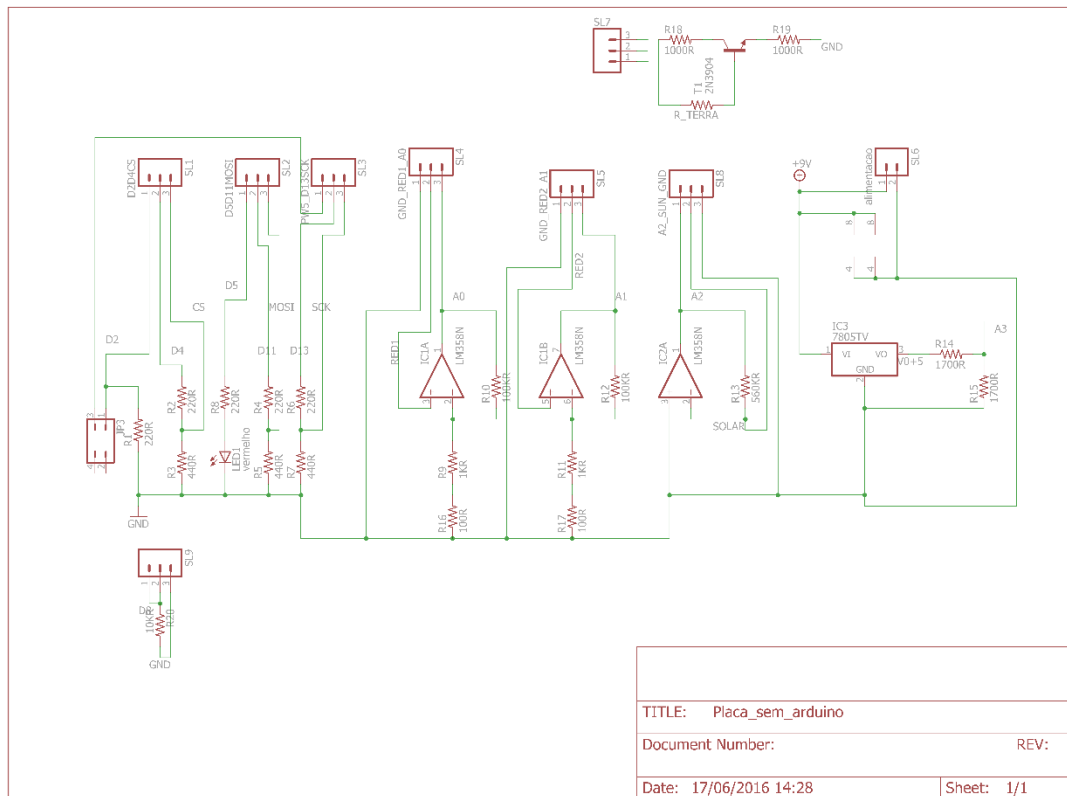


Figura 12- Esquemático do circuito criado em protoboard no software EAGLE 7.5.0

Após o esquemático, deve-se fazer todo o layout da placa para impressão.

A placa final ficou com um tamanho de 10cm X 6.5cm, muito mais compacta do que a placa em protoboard. Além disso, a PCB sofre menos interferência externa.

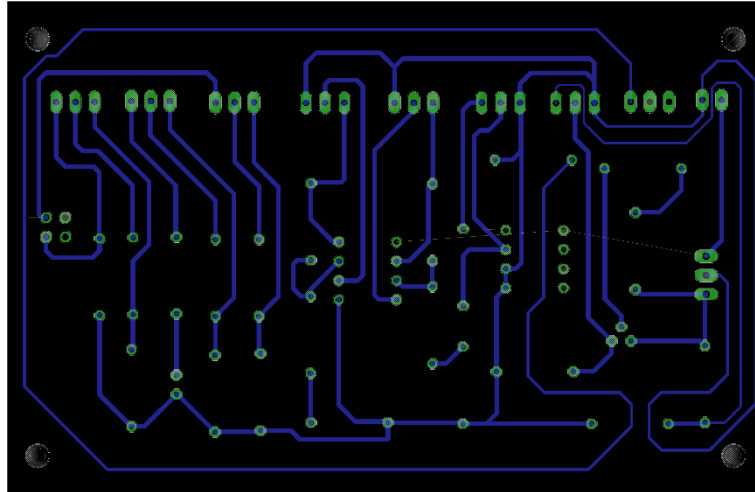


Figura 13- Layout da PCB

8- CONCLUSÃO

8.1- TESTES FINAIS E OPERAÇÃO EM CAMPO:

Essa seção trata-se do teste final em campo para o datalogger. A área utilizada para esse fim foram as imediações do INPE-CRN.



Figura 14- Datalogger sendo testado em campo.

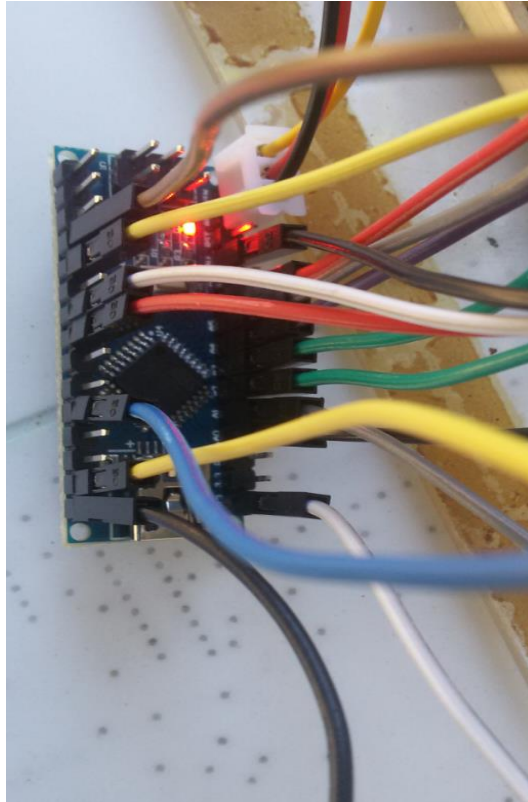


Figura 15- Arduino Nano em operação



Figura 16- Sensor de irradiação solar



Figura 17- Sensores de temperatura e umidade do solo

O datalogger operou no dia 16/06/2016 das 15h às 16h e o resultado pode ser visto na tabela abaixo:

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DO DATALOGGER					
	TEMP. AR (°C)	TEMP. SOLO (°C)	IRRADIAÇÃO (uMol/m²)	PLUVIOSIDADE (mm)	UMIDADE (V)
16/06/2016 15:09	28,6	25,3	278,1	0	0,97
16/06/2016 15:14	28,5	25	266	0	0,95
16/06/2016 15:19	28,3	25	253,2	0	0,93
16/06/2016 15:24	28,2	24,9	241,9	0	0,93
16/06/2016 15:30	27,9	24,9	226	0	0,93
16/06/2016 15:35	28	24,9	181,4	0	0,91
16/06/2016 15:40	28	24,9	198,8	0	0,89
16/06/2016 15:45	27,9	24,8	63,5	0	0,89
16/06/2016 15:50	27,6	24,8	164,8	0	0,88
16/06/2016 15:55	27,4	24,8	158,7	0	0,86
16/06/2016 16:00	27,4	24,8	132,3	0	0,85

Tabela 4- Resultado das medições do datalogger no dia 16 de Junho de 2016.

8.2- ANÁLISE DOS RESULTADOS:

8.2.1 - TEMPERATURA DO AR:

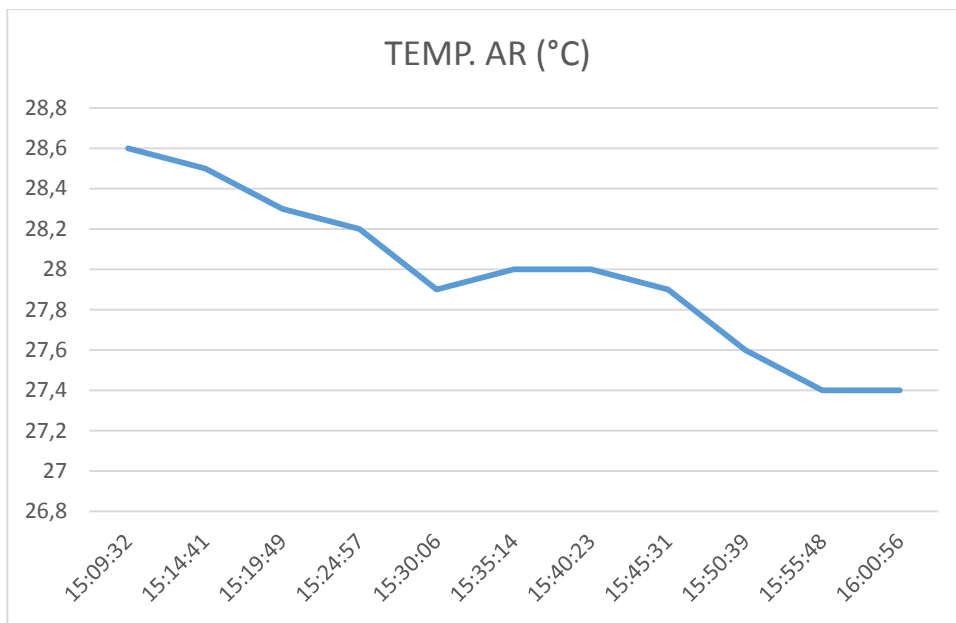


Figura 18- Gráfico 1: Variação da temperature do ar x tempo

Analisando o gráfico, pode-se ver que a temperatura se manteve praticamente constante. Em quase uma hora de experimento, ela variou de 28,6°C a 27,4°C.

8.2.2- TEMPERATURA DO SOLO:

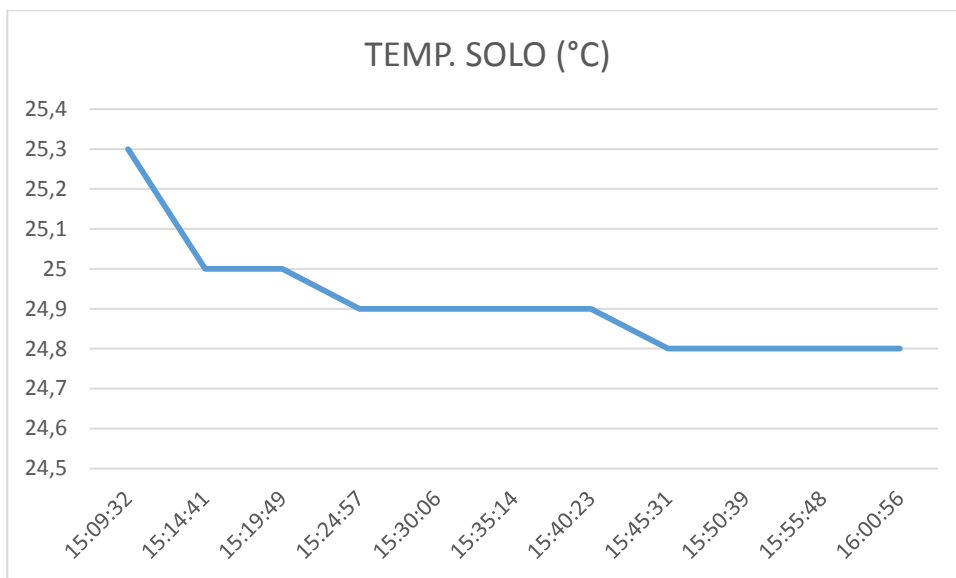


Figura 19- Gráfico 2: Variação da temperatura do solo x tempo

Assim como no gráfico de temperatura do ar, a temperatura do solo variou muito pouco (de 25,3°C a 24,8°C) durante o período de testes.

8.2.3- IRRADIAÇÃO SOLAR:

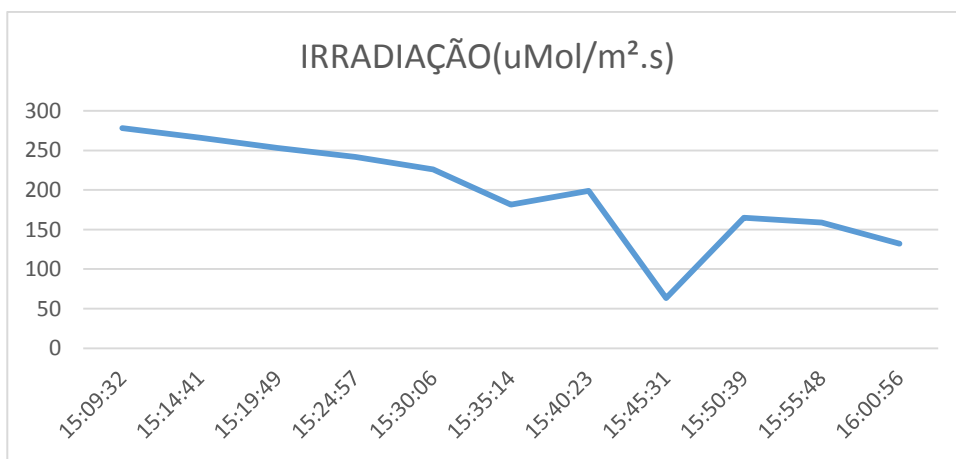


Figura 19- Gráfico 3: Variação da irradiação solar x tempo

As variações da radiação solar observadas nos gráficos se devem a passagem de nuvens. Como este sensor (Li-Cor Quantum) tem sua banda passante centrada no espectro visível, a maior ou menor densidade da nuvem bloqueia a passagem desta radiação, ocasionando a variação na intensidade medida pelo sensor.

8.2.4- UMIDADE DO SOLO

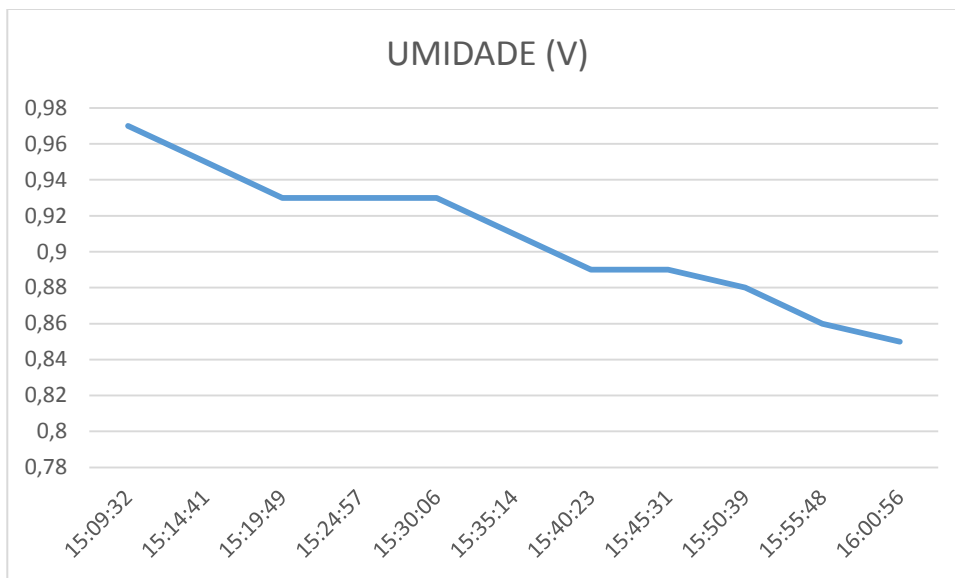


Figura 21- Gráfico 4: Variação da tensão no emissor do TBJ x tempo

Nesse gráfico, aponta-se a variação da tensão do emissor do TBJ em função do tempo. A tensão V_e está entre 0,97 V e 0,85 V, o que significa que a resistência do solo, como visto na tabela 2, está entre 400k Ω e 500k Ω .

Com esse resultado de resistência, podemos afirmar que o solo está em um estado com média/baixa umidade.

8.2.5- PLUVIOSIDADE:

Por análise da tabela 4, chegamos à conclusão que não houve chuva no momento do experimento.

9- REFERÊNCIAS:

McROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 1. Ed.: novatec

FILIFELOP. **Como gravar dados no cartão SD com arduino**. Disponível em:<<http://blog.filipeflop.com/modulos/cartao-sd-com-arduino.html>>. Acesso em: dez. 2015

BRAGA, Newton. **Fórmulas para amplificadores operacionais**. Disponível em:<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/matematica-para-eletronica/4653-formulas-paraamplificadores-operacionais-m251.html>>. Acesso em: dez. 2015

USINAINFO. Regulador de tensão 7805 5V para projetos. Disponível em:<<https://www.usinainfo.com.br/reguladores-de-tensao/regulador-de-tensao-7805-5v-para-projetos-3074.html>>. Acesso em: dez. 2015

RODRIGUES, Marcelo. Projeto: Relógio RTC com arduino. Disponível em:<<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/projeto-rel-gio-rtc-com-arduino>>. Acesso em: fev. 2016