



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade De Engenharia

Circuitos Eletrônicos para Controlar Painéis Fotovoltaicos de um Barco Teleoperado

Relatório de Iniciação Científica

Aluno: Aline Damm da Silva Falcão

Orientador: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Rio de Janeiro, 29 de Janeiro de 2016

RESUMO

Neste trabalho está sendo desenvolvida a conexão de painéis fotovoltaicos para fornecer energia a um barco teleoperado. Visando conectar o painel fotovoltaico à bateria e aos demais circuitos elétricos do barco, foram desenvolvidos circuitos eletrônicos compostos por: sensores de tensão, sensores de corrente e acionadores de relés. Os sensores de corrente e de tensão possibilitam garantir que a bateria seja carregada até o nível de tensão desejado, evitando-se sobrecarga. Esses sensores foram calibrados a partir de testes em conexão com o microcontrolador Arduino por meio de entradas do seu conversor analógico para digital (A/D). Também foi desenvolvido um circuito de acionamento de relés, com o objetivo de conectar ou desconectar partes dos circuitos e painéis quando necessário. Os relés são acionados por saídas digitais do Arduino. Assim, o programa no Arduino fará o controle de diversas funções no barco, tais como: controle da carga das baterias, acionamento de luzes e do guincho da âncora. Assim, poderemos comandar satisfatoriamente a carga das baterias com a energia dos painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: Painel fotovoltaico; microcontrolador; sensor.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	04
1.1 – Objetivo	04
CAPÍTULO 2 – EMBARCAÇÕES TELEOPERADAS.....	04
2.1 – Painéis fotovoltaicos na embarcação.....	04
CAPÍTULO 3 – SENSOR DE CORRENTE.....	06
3.1 – Sensor ACS711	06
3.2 – Calibração do Sensor.....	06
3.2.1 – Material Utilizado.....	07
3.2.2 – Circuito Esquemático.....	07
3.2.3 – Testes de Calibração.....	08
3.2.4 – Resultados.....	09
CAPÍTULO 4 – SENSOR DE TENSÃO.....	11
4.1 – Calibração do Sensor de Tensão.....	11
4.1.1 – Material Utilizado.....	11
4.1.2 – Circuito Esquemático.....	12
4.1.3 – Testes de Calibração.....	13
4.1.4 – Resultados.....	13
CAPÍTULO 5 – CIRCUITO PARA O ACIONAMENTO DOS RELÉS.....	15
5.1 – Desenho do Circuito para acionamento de Relés.....	15
5.2 – Testes com Relés.....	15
5.2.1 – Resultados.....	16
CAPÍTULO 6 – INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES NA PLACA.....	17
6.1 – Desenho da Placa de Circuito Impresso.....	17
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
APÊNDICES.....	20

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e científico os problemas ambientais estão cada vez mais se tornando preocupações de escala global. Monitorar fenômenos da natureza e coletar dados tem se tornado muito importante na última década. Por isso, instrumentos autônomos com o objetivo de observar os mares e rios estão sendo requisitados e pesquisados.

Embarcações de superfície não tripuladas com o comando humano são vantajosas por poderem obter dados em áreas poluídas ou perigosas para humanos. Também são vantajosas porque muitos desses monitoramentos necessitariam de longos períodos para serem concluídos.

1.1 – Objetivo

O objetivo geral desse Projeto é a utilização de painéis fotovoltaicos em embarcações não tripuladas, com fins de monitoramento ambiental e medições meteorológicas. Para esse objetivo, foram feitas a criação circuitos elétricos e eletrônicos que são acoplados ao microcontrolador e testes com painéis fotovoltaicos.

No futuro a embarcação poderá ser utilizada em outros projetos a serem desenvolvidos por alunos de diversas áreas.

CAPÍTULO 2 – Embarcações Teleoperadas

A embarcação teleoperada desse projeto possuirá um casco de pequeno porte, motores elétricos, uma central eletrônica para o controle do barco e comunicação, um sistema de armazenamento de energia composto por baterias e painéis solares como segunda fonte de energia a fim de alimentar os componentes e recarregar as baterias da embarcação, aumentando o seu tempo de operação consideravelmente.

2.1 – Painéis fotovoltaicos na embarcação

O estudo realizado para a utilização de painéis fotovoltaicos neste projeto baseou-se em projetos anteriores que servirão de base para esse projeto [1].

Nesse projeto será usado o caiaque de plástico como casco da embarcação teleoperada. Nesse casco serão inseridos baterias, painéis fotovoltaicos, equipamentos de monitoração ambiental, sensores e um computador de bordo.

O desenho base que foi escolhido é do tipo catamarã, mostrado na figura 1. Na figura 1, percebemos que há uma caixa estanque que armazena os componentes elétricos e eletrônicos, e um par de painéis solares [5] e seus respectivos suportes.

Nessa Caixa de Comando estarão armazenados todos os circuitos eletrônicos para a conexão da bateria com o painel solar, que serão apresentados nos itens a seguir.

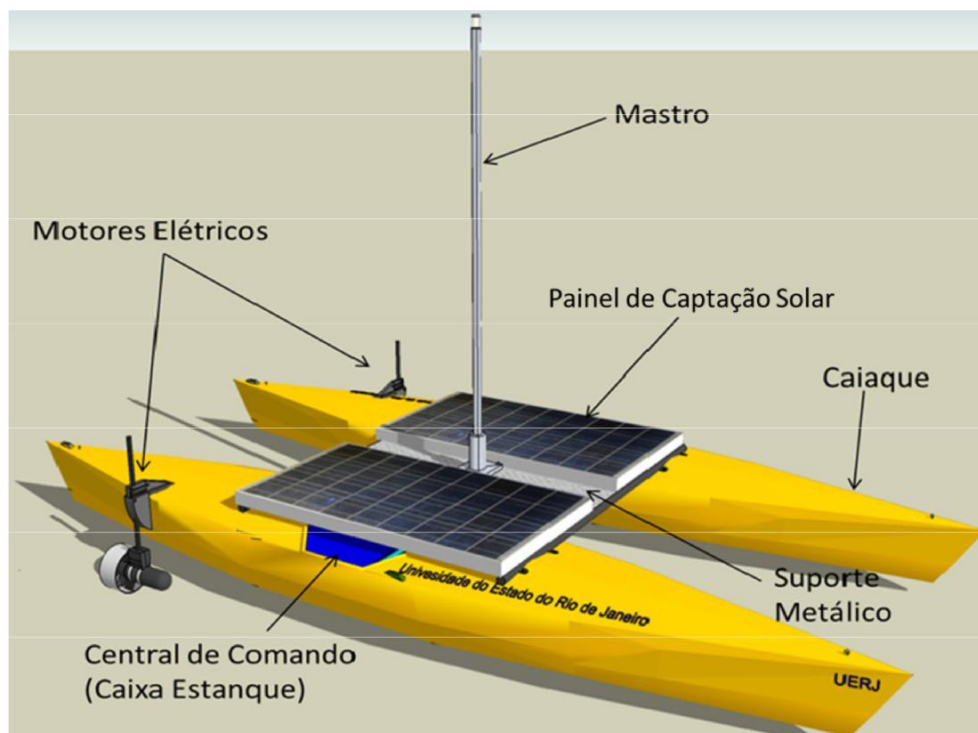


Figura 1 – Esboço da configuração do catamarã. Extraído de [3].

CAPÍTULO 3 – SENSOR DE CORRENTE

O componente a ser estudado neste capítulo é o sensor de corrente. Para o desenvolvimento do projeto a necessidade de analisar a corrente fornecida pelo painel solar se tornou essencial. Após estudar as necessidades e as reais características de funcionamento do painel fotovoltaico, foram criados circuitos para conectá-lo ao barco.

A escolha do componentes levou em consideração as especificações do projeto, o preço e a disponibilidade.

3.1 – Sensor ACS711

Após uma primeira análise para escolha do sensor de corrente, o ACS711(Figura 2) foi o escolhido. Para a utilização do sensor no projeto necessitou-se a calibração do mesmo. A calibração foi feita com o auxílio do microcontrolador Arduino UNO.

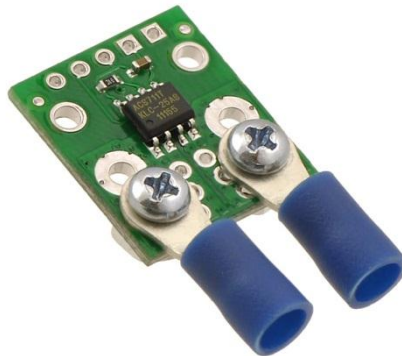


Figura 2 – Sensor de corrente ACS711. Extraído de [7].

3.2 – Calibração do sensor

Os testes de calibração do sensor foram realizados com o microcontrolador Arduino UNO acoplado a uma fonte e uma carga. Com a calibração do sensor haverá uma melhor avaliação da corrente fornecida que passa pela carga.

3.2.1 – Material Utilizado

Para a realização do teste foram utilizados:

- Microcontrolador Arduino UNO;
- Uma fonte de tensão ICEL Manaus PS-6100;
- Um multímetro digital Agilent U1242B para a medição da corrente na fonte;
- Um multímetro digital FLUKE 115 para medição da tensão;
- Como carga, foi utilizado um reostato de 11Ω ajustado para $5,2\Omega$.

3.2.2 – Circuito Esquemático

O Circuito definido para a execução dos testes de calibração foi o circuito da figura 3. A fonte conectada ao sensor de corrente em serie com um reostato de $5,2$ ohms, aproximadamente, e um amperímetro. Na figura 4, está apresentada uma foto do experimento no laboratório.

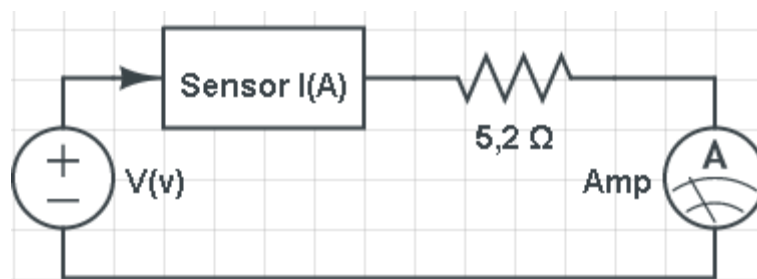


Figura 3 – Circuito esquemático para calibração do sensor de corrente.



Figura 4 – Circuito de calibração do Sensor de corrente ACS711.

3.2.3 – Testes de Calibração do Sensor de corrente

Testes foram executados para avaliar a precisão nas medidas. O sensor de corrente do modelo ACS711 foi conectado ao Arduino UNO de acordo com o esquema da figura 5.

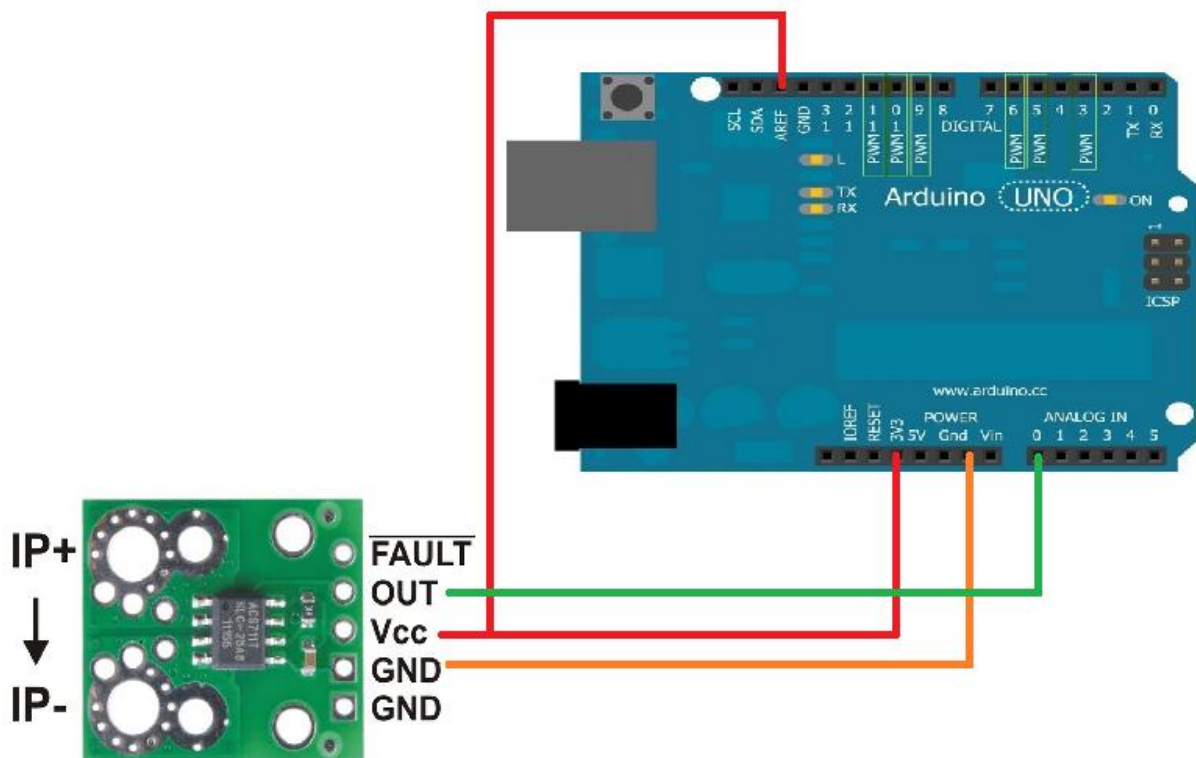


Figura 5 – Conexão sensor ACS711 com Arduino UNO.

O código apresentado no apêndice A foi adicionado no Arduino e inicialmente foi adquirida a tensão da fonte, a corrente proveniente da fonte e o "SensorValue(Sad)" lido pelo Arduino.

O Arduino tem um circuito no interior chamado conversor analógico-digital que lê a tensão da fonte e a converte para um número entre 0 e 1023. Quando há 0 volts indo para o pino, o valor de entrada é 0. Quando há 5 volts indo para o pino, o valor de entrada é de 1023. O `analogRead()` retorna um número entre 0 e 1023 que é proporcional à quantidade de tensão sendo aplicada ao pino [4]. Contudo, nesse projeto utilizamos o `AREf()` para mudar a referência do Arduino de 5V para 3.3V. Isso foi feito para diminuir a variação na leitura do `SensorValue(Sad)`.

3.2.4 – Resultados

Os dados do teste foram registrados manualmente conforme a variação da corrente. Os resultados estão apresentados na Tabela 1, na qual "SensorValue" é o número inteiro entre 0 e 1023 gerado pelo conversor A/D do microcontrolador Arduino.

Tabela 1 – Valores medidos pelo Sensor de corrente ACS711.

Tensão (V)	Corrente (A)	SensorValue
0,00	0,0	512
5,00	1,0	546
9,90	2,0	579
14,80	3,0	613
19,80	4,0	647
24,90	5,0	681
30,00	6,0	715

Em seguida foi desenhado o gráfico referente às correntes calculadas, e este gráfico é mostrado na Figura 6.

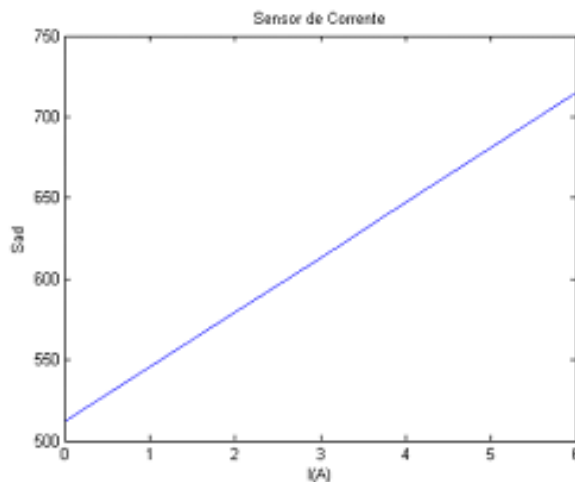


Figura 6 – Gráfico que reproduz a corrente que passa na carga em relação ao Valor do Sensor do Arduino.

Ao analisar o gráfico da figura 6, podemos perceber que a corrente medida pelo amperímetro (I(A)) aumenta proporcionalmente com o valor medido pelo sensor de corrente (Sad). Assim, encontramos uma reta perfeita.

Para calibrar o sensor de corrente utilizamos à seguinte formula:

$$I = a \cdot \text{SensorValue} + b$$

Com os valores de corrente e o valor do SensorValue , calculamos os valores gerais de 'a' e 'b' para todas as possíveis situações pelo programa MATLAB, utilizando o comando "solve." Dois em dois valores da tabela 1 foram inseridos no comando "solve" do MATLAB. Os resultados de 'a' e 'b' para diferentes correntes foram parcialmente iguais. Os valores abaixo de 'a' e 'b' foram os melhores resultados.

$$[a,b] = \text{solve}('647 \cdot a + b=4', '681 \cdot a + b=5')$$

$$a = \frac{1}{34} = 0,029 A$$

$$b = \frac{-511}{34} = -15,029 A$$

Após os cálculos e aquisição de dados necessários, inseriu-se o resultado no código do microcontrolador para, assim, calcularmos a corrente exata ao inserirmos o sensor no sistema do barco.

CAPÍTULO 4 – SENSOR DE TENSÃO

Neste Capítulo são apresentados os estudos e calibração do Sensor de Tensão selecionado.

4.1 – Calibração do sensor de tensão

A criação e os testes de calibração do sensor de tensão foram realizados com o microcontrolador Arduino UNO para a avaliação da tensão durante os testes.

4.1.1 – Material Utilizado

Para a realização do teste foram utilizados:

- Microcontrolador Arduino UNO;
- Uma fonte de tensão ICEL Manaus PS-6100;
- Um multímetro digital FLUKE 115 para a medição da tensão na fonte;
- 2 Diodos 1N4148;
- 1 Resistor de 100 k Ω com fio metálico de 1% de tolerância;
- 1 Resistor de 10 k Ω com fio metálico de 1% de tolerância.

4.1.2 – Circuito Esquemático

A Figura 7 mostra o circuito esquemático do sensor de tensão que é um divisor de tensão resistivo que atenua o sinal de entrada (V_{in}) 11 vezes. No Circuito os diodos protegem as entradas dos conversores A/D contra sobretensões.

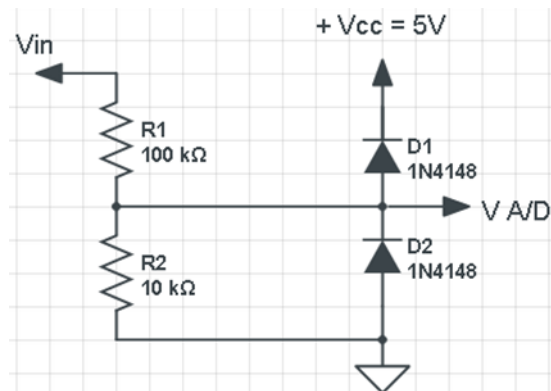


Figura 7 – Circuito completo do Sensor de Tensão.

Na figura 8, está apresentada uma foto do experimento no laboratório.

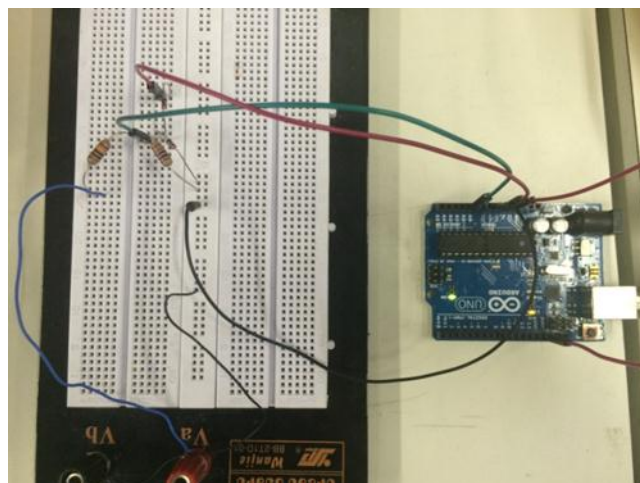


Figura 8 – Circuito montado no laboratório

4.1.3 – Testes de Calibração do Sensor de tensão

O código apresentado no apêndice B foi adicionado ao Arduino e inicialmente foi adquirida a tensão da fonte e o "SensorValue" lido pelo arduino. Como falado no capítulo 3, o Arduino tem um circuito no interior chamado conversor analógico-digital que lê a tensão da fonte e a converte para um número entre 0 e 1023. Portanto, como já explicado no ítem 3.2.3, o analogRead () retorna um número entre 0 e 1023 que é proporcional à quantidade de tensão sendo aplicada ao pino.

Manualmente foram anotados os valores de tensão registrados pelo multímetro para cada "sensor Value" correspondente.

4.1.4 – Resultados

Com os resultados obtidos no experimento foi confeccionada a Tabela 2 que relaciona a tensão com o "Sensor Value" do arduino. Foi observado na figura 9 que a tensão cresce juntamente com o valor do sensor.

Tabela 2 – Valores medidos pelo sensor de tensão.

Tensão V(v)	SensorValue
0	1
1	26
3	82
5	140
7	196
9	253
11	310
13	367
15	423
17	480
19	537
21	593
23	650
25	706
27	763
29	820
31	877

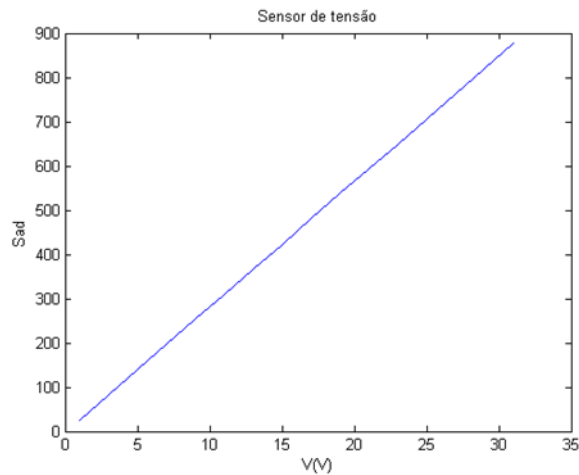


Figura 9 – Gráfico da tensão vs o “SensorValue” do Arduino.

Ao analisar o gráfico da figura 9, podemos perceber que a tensão medida pelo multímetro (V(v)) aumenta proporcionalmente com o valor medido no Arduino (Sad). Assim, encontramos uma reta perfeita.

Para calibrar o sensor de tensão utilizamos à seguinte formula:

$$I = a. \text{SensorValue} + b$$

Com os valores de tensão e valores lidos pelo Arduino, calculamos os valores gerais de ‘a’ e ‘b’ para todas as possíveis situações.

Com os valores de corrente e do sensor, calculamos os valores gerais de ‘a’ e ‘b’ para todas as possíveis situações pelo programa MATLAB, utilizando o comando “solve”.

$$[a,b] = \text{solve}('647*a + b=4', '681*a + b=5')$$

$$a = \frac{2}{57} = 0,035 A$$

$$b = \frac{3}{19} = 0,1579 A$$

Utilizamos o ARef do Arduino como 3,3V para melhor análise de valores. Os valores na Tabela 3 foram utilizados para calibrar o sensor de tensão. Assim como no sensor de corrente, os valores aquisitados foram utilizados para o cálculo dos coeficientes de uma função de primeiro grau pelo método dos mínimos quadrados. Assim, o código do microcontrolador pode ser finalizado.

CAPÍTULO 5 – CIRCUITO DESENVOLVIDO PARA O ACIONAMENTO DOS RELÉS

Os relés serão usados para acionar o guincho da ancora, a iluminação e a conexão dos painéis fotovoltaicos às baterias. Os devidos cálculos para encontrar os componentes para os circuitos de acionamento de relés foram realizados.

5.1 – Desenho do Circuito do Relé Acionador.

O circuito projetado deverá acionar relés quando necessário. Para isto foi projetado um circuito acionador de relés. A Figura 10 apresenta o circuito esquemático com os valores encontrados.

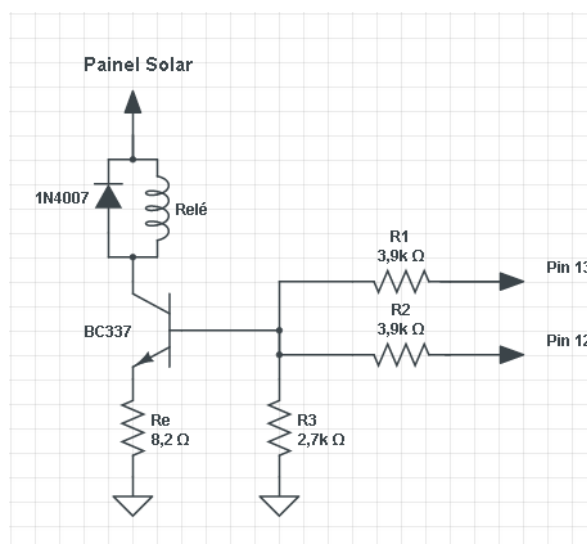


Figura 10 - Circuito completo com Relé Auxiliar.

5.2 – Testes com Relés

O objetivo dos testes foi medir como a variação de correntes afeta o relé.

5.2.1 – Resultados

Na fase de testes encontramos os resultados esperados, como mostrado na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Valores de tensão e corrente de abertura e fechamento dos contatos dos relés.

	Relé Fecha	Relé Abre
Tensão (V)	7,8	3,5
Corrente (A)	0,082	0,03

Os relés utilizados em laboratório possuem uma resistência de 89 ohms, aproximadamente. Para determinar esse valor foram feitos testes com diferentes relés de 5 pinos DNI 0101, como o da figura 11.

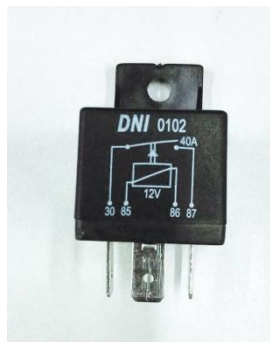


Figura 11 – Relé DNI 0102.

A conclusão dos testes foi que, com uma alta corrente, o relé se magnetiza e fecha os contatos, e com uma determinada baixa corrente o relé mantém o estado, porém com menor consumo de potência. O relé só abre novamente com uma corrente consideravelmente menor do que a de magnetização para fechar. Logo, com esses dados já podemos seguir para o objetivo de acionar o conjunto completo de relés ao guincho da ancora, a iluminação e a conexão dos painéis fotovoltaicos às baterias sem danificar o circuito.

CAPÍTULO 6 – INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES NA PLACA

Foi desenvolvida uma placa de interface do microcontrolador Arduino com os sensores e relés. Com a utilização do software Eagle foi feita a confecção da placa. Os componentes presentes na placa estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Material para Placa conectada ao Arduino.

Circuito	Material	Quantidade	Valor
Sensor de tensão (Total de 3)	Resistor	3	10k Ω \pm 1%
	Resistor	3	100k Ω \pm 1%
	Diodo	6	1N4148
Sensor de corrente (Total de 2)	Resistor	1	5,2 Ω (5,6 Ω comercial)
	Sensor	1	ACS711
Relé (Total de 2)	Resistor	4	3,9k Ω
	Resistor	2	2,7k Ω
	Resistor	2	8,2k Ω
	Diodo	2	1N4007
	Relé	2	89 Ω
	Transistor	2	BC337

6.1 – Desenho da Placa de Circuito Impresso

A Placa de Circuito Impresso foi desenhada no *software* Eagle, onde adicionamos espaço suficiente para serem dispostos 3 sensores de tensão, 2 de corrente, 2 relés e 2 sensores de temperatura. Porém, primeiramente, apenas os componentes dos circuitos citados nesse relatório serão adicionados na placa. Na Figura 13 está a imagem da placa de circuito impresso que foi desenvolvida, e na Figura 14 está a foto da placa já com a disposição dos componentes.

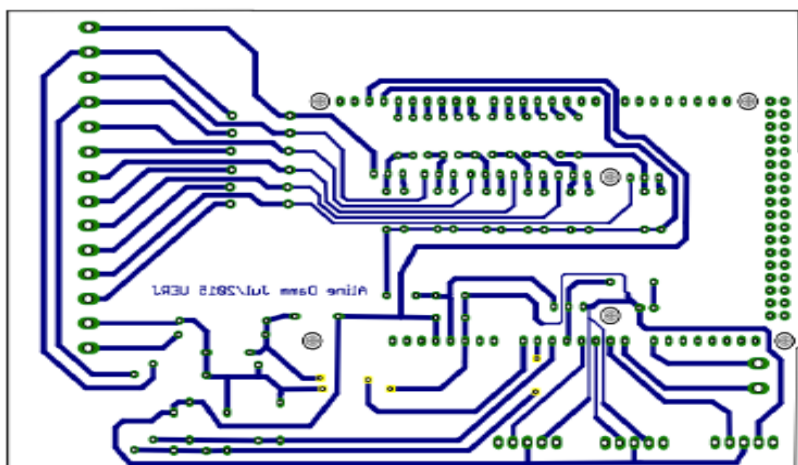


Figura 13 – Vistas das Trilhas.

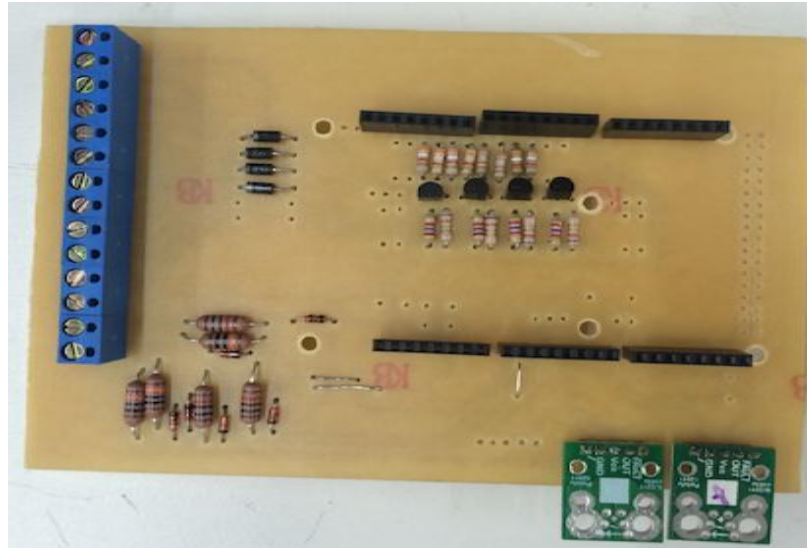


Figura 14 – Placa com componentes.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

A construção e calibração de sensores de tensão e de corrente e a criação de circuitos de acionamento com relés, permitirão a conexão dos painéis a baterias. Esse sistema está sendo adaptado a um barco teleoperado.

Durante o desenvolvimento deste projeto foi realizada a construção e a calibração de sensores de tensão e de corrente e a criação de circuitos de acionamento com relés. Os circuitos desenvolvidos bem como a eletrônica aplicada a eles se mostraram eficazes com um bom desempenho para a utilização no projeto do barco teleguiado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BELLAR, Maria Dias ; Monteiro, L. F. C. ; CUNHA, J. P. V. S. ; Oliveira, T. R. . Sistemas eletrônicos de energia renovável: desafios e soluções para uma vida sustentável. Advir (ASDUERJ), v. 31, p. 77-89, 2013.
- [2] Schultze, H. J. (2011), *Projeto e Construção de uma Embarcação Teleoperada*, Relatório do Projeto do circuito acionador dos motores, Departamento de Engenharia Eletrônica e Telecomunicações, Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [3] Schultze, H. J. (2012), *Projeto e Construção de uma Embarcação Teleoperada*, Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [4] *Arduino*. Página consultada em 10 de Abril de 2015, < <http://arduino.cc/en/> >.
- [5] KYOCERA Solar, Inc. *High Efficiency Multicrystal Photovoltaic Module*. Página consultada em 10 de setembro de 2016, <www.kyocerasolar.com>.
- [6] SUPERDROID ROBOTS. *Robots, Parts & Solutions*. Página consultada em 20 de outubro de 2016, <<http://www.superdroidrobots.com/shop/item.aspx/pololu-ac711-current-sensor-carrier-12-5-to-12-5a/1295/>>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE CORRENTE

Tabela A.1 – Código desenvolvido para calibração.

Programa escrito no editor do <i>Arduino</i>
<pre>// Programa para a calibração do sensor de corrente // Projeto Embarcação Teleoperada. int analogInPin = A0; int sensorValue = 0; float I=0.0; float a = 0.0294; float b = -15.029; void setup() { Serial.begin(9600); analogReference(EXTERNAL); } void loop() { sensorValue = analogRead(analogInPin); I= (a*sensorValue) + b ; Serial.println(); Serial.print("\t sensorValue = "); Serial.print(sensorValue); Serial.print("\t I(A)= "); Serial.print(I); delay(1000); }</pre>

APÊNDICE B – CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE TENSÃO

Tabela B.1 – Código desenvolvido para calibração.

Programa escrito no editor do *Arduino*

```
// Programa para a calibração de um sensor de TENSÃO
// Projeto Embarcação Teleoperada.

int analogInPin = A0;
int sensorValue = 0;
float V=0.0;
float a = 0.035;
float b = 0.1579;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  analogReference(EXTERNAL);
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  V= (a*sensorValue) + b ;
  Serial.println();
  Serial.print("\t sensorValue = ");
  Serial.print(sensorValue);
  Serial.print("\t V(V)= ");
  Serial.print(V);
  delay(1000);
}
```