



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

**Wederson Medeiros Silva**

# **Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado**

Belém – Pará

2018

Wederson Medeiros Silva

# **Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação. Instituto de Tecnologia. Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações. Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez  
Coorientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa

Belém – Pará

2018

Wederson Medeiros Silva

Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado/ Wederson Medeiros Silva. – Belém – Pará, 2018-  
26 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez

Coorientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará – UFPa  
Instituto de Tecnologia – ITEC  
Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações – FCT, 2018.

1. Modo fantasma de segunda camada. 2. Taxa agregada. 3. *Vectoring*. 4. EVM. I. Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez. II. Universidade Federal do Pará. III. Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica. IV. Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado

Wederson Medeiros Silva

## **Sistema de Aquisição e Transmissão de Dados Usando Sensor de Flexão Bioinspirado**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação. Instituto de Tecnologia. Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações. Universidade Federal do Pará.

Trabalho aprovado. Belém – Pará, 24 de dezembro de 2018:

Conceito: .

---

**Prof. Dr. Roberto Menezes Rodriguez**  
Orientador

---

**Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa**  
Coorientador

---

**Prof. Dr. Gilvan Borges**  
Convidado 1

Belém – Pará  
2018

*Este trabalho é dedicado...*

# Agradecimentos

Agradeço ao Professor Dr. ...

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo, ...)*

# Resumo

O modo *fronthaul* de redes 5G ...

**Palavras-chaves:** Modo fantasma.



# Abstract

Phantom mode has...

**Keywords:** Phantom mode.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Sensor de Flexão . . . . .	15
Figura 2 – Funcionamento do potenciômetro linear . . . . .	16
Figura 3 – Movimento do dedo através do tendão . . . . .	16
Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano (LICENSE, b) . . . . .	17
Figura 5 – Mão em posição inicial (A) e após a flexão dos dedos (B) . . . . .	18
Figura 6 – Captação (A) e transmissão do sinal (B) . . . . .	19
Figura 7 – Recepção e processamento do sinal . . . . .	19
Figura 8 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes . . . . .	21
Figura 9 – Esquemático . . . . .	22
Figura 10 – Desenho da PCI . . . . .	22
Figura 11 – Placa após transferência e corrosão . . . . .	23

## Lista de tabelas

# Lista de abreviaturas e siglas

AWG	<i>American Wire Gauge</i>
AXT	<i>Alien crosstalk</i>
BBU	<i>Baseband Unit</i>
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CM	Conversão de modo
CST	<i>Computer Simulation Technology</i>
DMT	<i>Discrete Multitone</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EVM	<i>Error Vector Magnitude</i>
FEXT	<i>Far-End Crosstalk</i>
FT	Função de transferência
FTTH	<i>Fiber-to-the-Home</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
MD	Modo diferencial
MF1	Modo fantasma de 1ª camada
MF2	Modo fantasma de 2ª camada
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
NEXT	<i>Near-End Crosstalk</i>
RSIR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SP	Modo <i>split-pair</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
VNA	<i>Vector Network Analyzer</i>
WS	Modo <i>wire-shield</i>

# Lista de símbolos

$\alpha$	Contante de atenuação
$\beta$	Contante de fase
$\gamma$	Contante de propagação
$\Gamma_L$	Coeficiente de reflexão na carga
$\delta$	Constante da restrição de potência transmissão
$\Delta_f$	Subcanais ou tons em Hz
$\Gamma$	Gap de <i>RSIR</i>
$\Lambda$	Matriz que contém os elementos da diagonal principal de $\mathbf{H}$
$\rho$	Máscara espectral utilizada pelo sistema DSL
$\sigma^2$	Densidade espectral de potência potência do ruído Gaussiano branco aditivo

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1	Sensor Flex	15
2.2	Potenciômetro	15
2.3	Movimentação dos dedos	16
2.4	Arduino	17
2.5	Módulo RF 433 Mhz	17
<b>3</b>	<b>TRABALHO PROPRIAMENTE DITO</b>	<b>18</b>
3.1	Teoria da coisa	18
3.2	Medidas e Posicionamento	19
3.2.1	Componentes	20
3.2.2	Dimensões e Posicionamento	20
3.3	Placa Embarcada	21
3.3.1	Esquemático	21
3.4	Movimento mecânico	21
<b>4</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS</b>	<b>24</b>
4.1	Configurações	24
4.2	Testes	24
4.3	Resultados	24
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>25</b>
5.1	Conclusões	25
5.2	Trabalhos Futuros	25
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>26</b>

# 1 Introdução

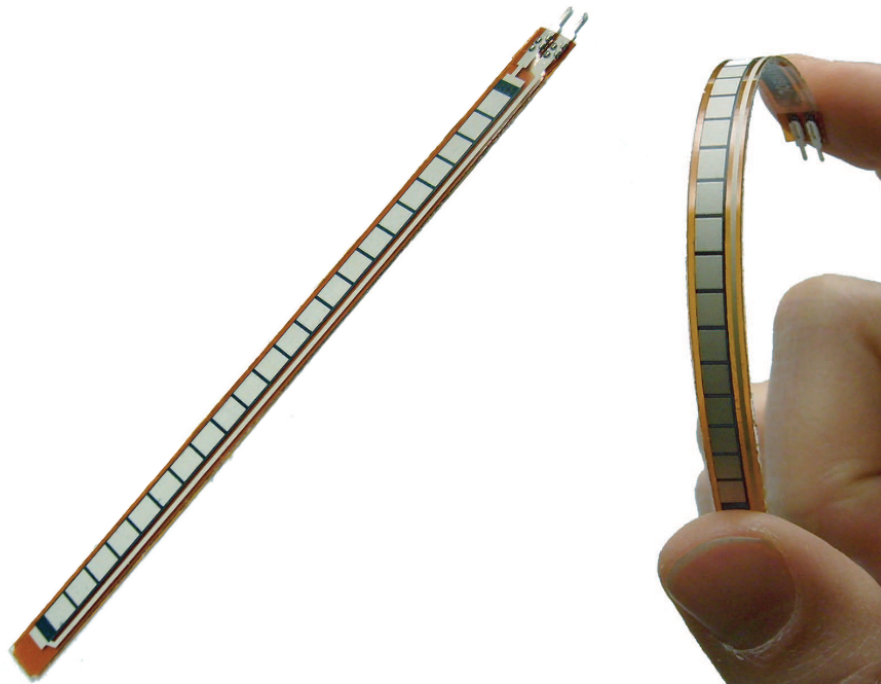
Contextualização; Estado da arte (se tiver); Motivação; O que vai fazer; Metodologia; O que terá no resto do documento;

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Sensor Flex

Sensores de flexão, mais conhecidos como sensores flex, são resistores analógicos que trabalham como divisores de tensão analógicos. Dentro desses sensores existem elementos resistivos de carbono junto a um fino substrato flexível. Mais carbono significa menos resistência. Quando o substrato é torcido o sensor produz uma resistência relativa ao raio da torção. (M, 2013).

Figura 1 – Sensor de Flexão



Fonte – Site Sparkfun

### 2.2 Potenciômetro

O potenciômetro é um componente eletrônico que permite, através do giro do seu eixo, a variação da resistência entre seus terminais. Eles são constituídos por um elemento de resistência, que pode ser de carbono ou fio de nicromo, sobre o qual corre uma lingüeta, denominada cursor. Dentre as características do potenciômetro estão o valor máximo de sua resistência, seu número de voltas, seu grau máximo de giro (aproximado) e se ele é do tipo linear ou logarítmico (BRAGA, 2012).



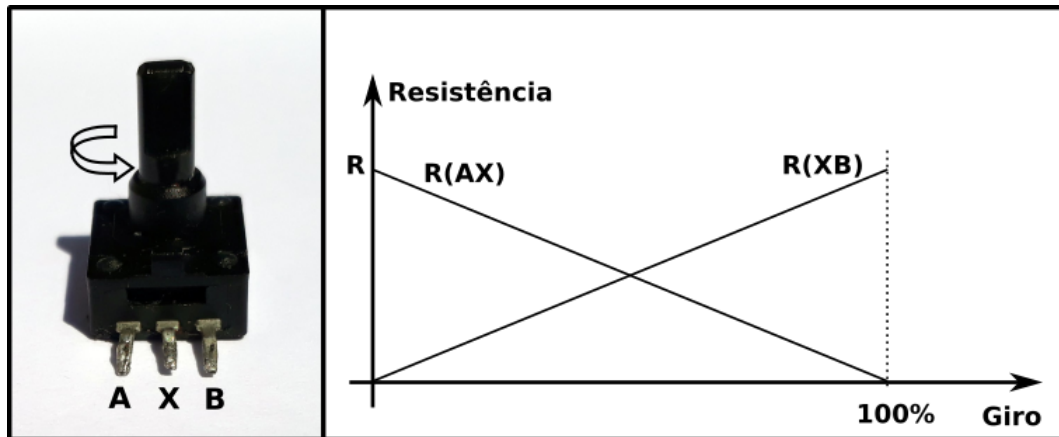


Figura 2 – Funcionamento do potenciômetro linear

Segundo a lei de Ohm ( $V = R.I$ ), dada uma corrente constante, ao variar a resistência teremos uma variação da tensão. Sendo assim, ao girar o eixo do potenciômetro, dependendo do sentido do giro, perceberemos um aumento ou diminuição da tensão naquele ponto. Partindo de um ponto extremo com resistência mínima até o outro ponto extremo no qual a resistência deverá ser a máxima característica do componente.

## 2.3 Movimentação dos dedos

Na mão, os tendões funcionam como cordas que conectam os músculos do antebraço aos ossos da mão. Nos dedos, os tendões passam por dentro de uma série de polias, que formam uma espécie de túnel. Isso permite manter os tendões próximos aos ossos da mão, aumentando a força nos dedos e diminuindo o gasto de energia. Ao movimentar o dedo, o músculo se contrai para que o tendão deslize por entre as polias. (OLIVEIRA, )

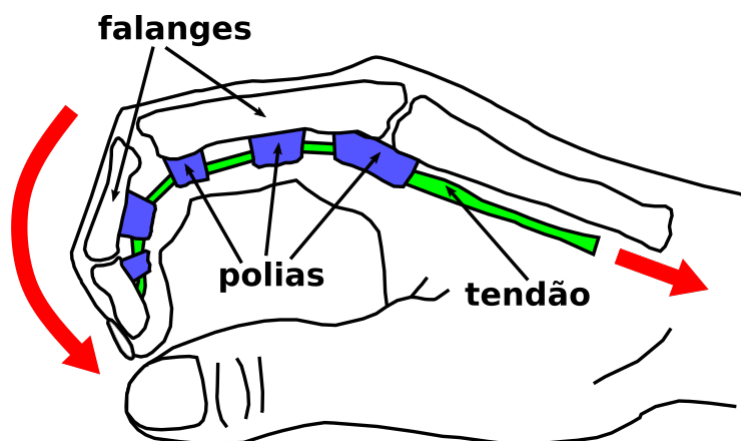


Figura 3 – Movimento do dedo através do tendão

## 2.4 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto (*open-source*) que é baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas como o acionamento de um sensor, o pressionamento de um botão, ou uma mensagem do Twitter. E pode transformar essas entradas em saídas como a ativação de um motor, o acendimento de um LED ou até a publicação de algo online. O comportamento dessa placa pode ser programado usando sua interface de desenvolvimento (IDE), que por sua vez, envia as instruções necessárias para o microcontrolador instalado na placa.(LICENSE, a)

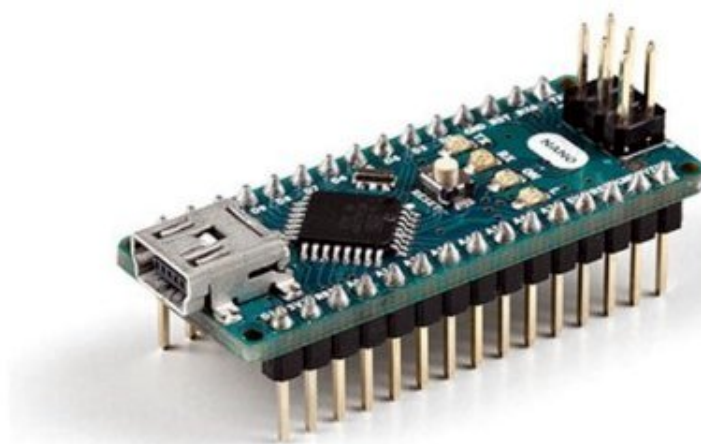


Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano (LICENSE, b)

## 2.5 Módulo RF 433 Mhz

O módulo de rádio frequência 433 Mhz é composto por um par que contém um transmissor e um receptor, ele opera com modulação AM e é uma alternativa para projetos de baixo custo que queiram usar comunicação sem fio entre microcontroladores Arduino ou outros. O par de módulos pode alcançar até 200 metros sem obstáculos, usando antenas e dependendo da tensão aplicada.(DIGITAL, )

## 3 Trabalho Propriamente Dito

### 3.1 Teoria da coisa

Como foi demonstrado na figura 3, através dos tendões, passando por polias, têm-se a movimentação dos dedos na mão. Baseado nessa biomecânica de movimento, foi desenvolvido um sistema mecânico semelhante, com o intuito de criar um sensor de flexão de dedos, atrelado a um transmissor de dados.

Inicialmente foi verificado o deslocamento de um fio durante a flexão dos dedos. Para isso, com a mão inicialmente estendida e o dorso voltado para cima, uma das pontas de um fio foi presa na ponta de um dos dedos. O local inicial da outra ponta do fio foi marcada no dorso mão.

Após a flexão dos dedos o fio se movimentou em uma direção criando um deslocamento (d) do fio em relação ao ponto marcado.

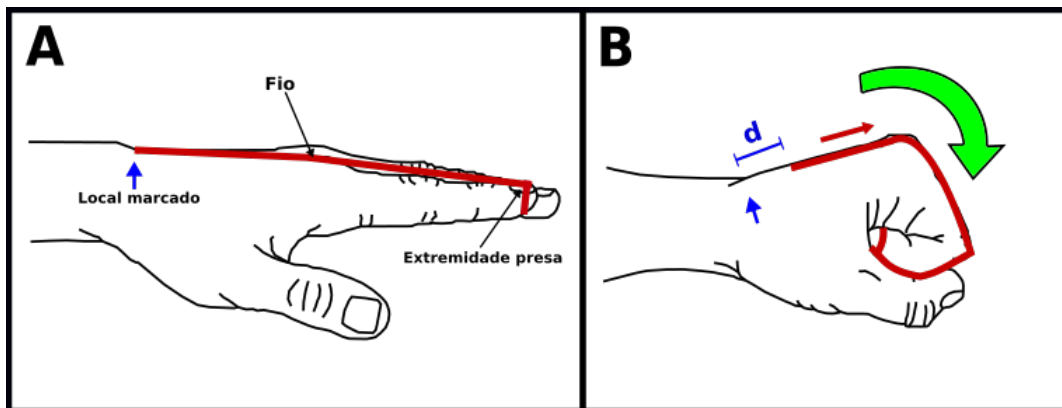


Figura 5 – Mão em posição inicial (A) e após a flexão dos dedos (B)

Após examinar esse movimento, foi decidido criar e instalar todo o sistema em uma luva. Fios foram presos às extremidades dos dedos da luva, passando por polias plásticas que servem de guias. Na extremidade oposta, os fios são conectados à pequenos potenciômetros que variam de acordo com o sentido do movimento de cada fio. Sendo assim, para os cinco dedos de cada mão, são utilizados cinco fios e cinco potenciômetros.

A variação de cada potenciômetro é captada por um microcontrolador que processa esse sinal antes de despachá-lo para o transmissor. O módulo transmissor envia por rádio frequência, mensagens em formato de números inteiros que representam a posição atual de cada dedo.

O módulo receptor de rádio frequência, capta as mensagens e as envia ao microcontrolador conectado. Este por sua vez, processa a mensagem e transmite aos respectivos

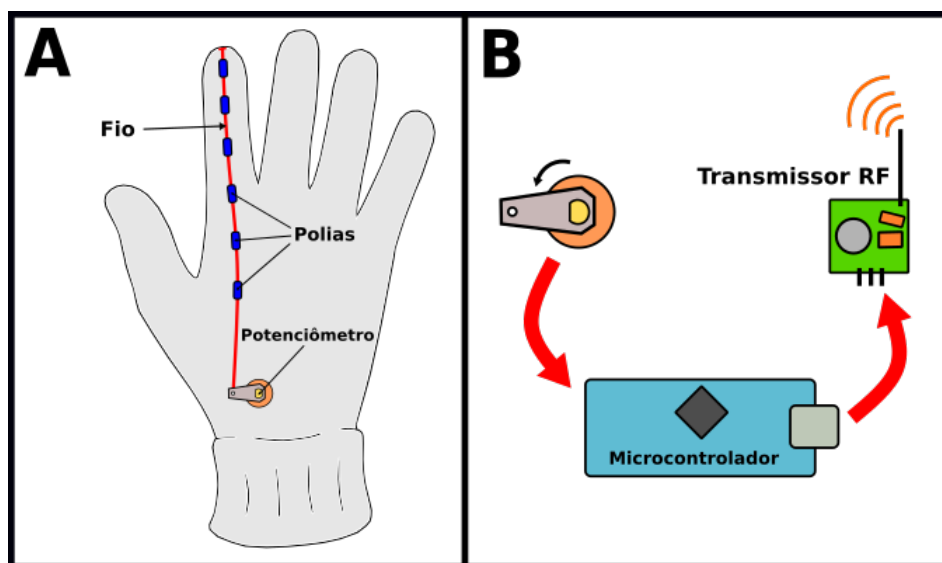


Figura 6 – Captação (A) e transmissão do sinal (B)

componentes e atuadores daquela aplicação.

Para este trabalho, um pequeno carrinho, foi o sistema escolhido para ser controlado pela luva. Para isso, um protocolo de transmissão foi desenvolvido para traduzir os movimentos dos dedos da luva em direções para o carrinho.

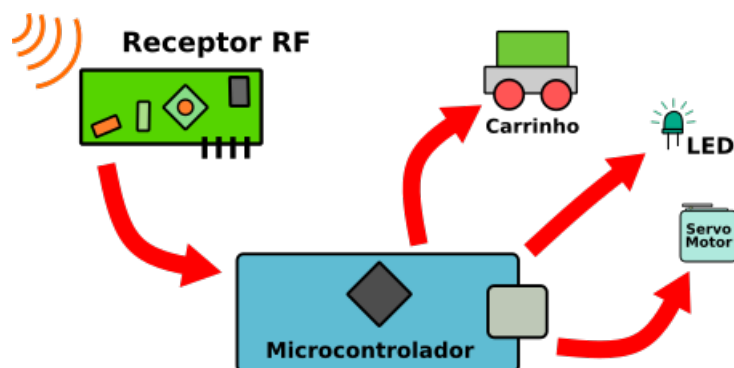


Figura 7 – Recepção e processamento do sinal

## 3.2 Medidas e Posicionamento

O sistema de captação e transmissão de sinal que seria embarcado na luva, foi projetado para ser de móvel, leve, alimentado por uma bateria, caber no dorso da mão e ter custo relativamente menor em relação às soluções com sensores flex tradicionais. O sistema deve ser de fácil reprodução e o mais adaptável possível às outras formas de transmissão além da rádio frequência, caso sejam necessárias futuramente.

### 3.2.1 Componentes

O primeiro desafio foi escolher, dentre os componentes disponíveis, quais seriam utilizados para compor a eletrônica presente na placa de circuito impresso que estaria embarcada na luva.

O potenciômetro foi o primeiro componente a ser definido para o projeto. Isso porque, este seria o componente que estaria em maior número na placa. O modelo escolhido deveria ser pequeno suficiente para manter uma distância adequada para outros potenciômetros e componentes. Seu cursor deveria ser de fácil giro, para que pudesse ser acionado apenas pelo deslocamento do fio. Seu ângulo de giro total precisava ser mínimo, para que o menor grau de giro correspondesse à maior variação possível, facilitando assim a percepção pelo microcontrolador.

O potenciômetro que mais se aproximou das especificações acima foi retirado de um servo motor modelo MG996R da marca TowerPro. Este servo apresentava problemas de controle e não estava mais sendo usado, porém, seu potenciômetro interno estava funcionando perfeitamente. Este potenciômetro possui dimensão aproximada de  $13\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ , resistência máxima de  $5k\Omega$ , giro aproximado de  $200^\circ$  e pouca resistência ao girar seu cursor.

Um pequeno pedaço de PVC expandido foi conectado ao cursor do potenciômetro para facilitar o giro e para amarrar uma das extremidades de um fio.

O microcontrolador escolhido para processar os dados recebidos de cada potenciômetro foi o Arduino modelo Nano. Isso porque ele é leve, ocupa uma área de apenas  $45\text{ mm} \times 17\text{ mm}$ , possui vasta documentação e disponibilidade no mercado, além de ser compatível com diversos módulos externos e possuir custo menor do que outros modelos da família Arduino.

Para transmitir e receber o sinal, foi escolhido para o projeto o par de RF  $433\text{ MHz}$ , que é leve e de baixo custo comparado à outras soluções de transmissão de dados.

Finalmente, para alimentar esse aparato eletrônico, foi escolhida uma pequena bateria Li-Po que estava disponível no laboratório. Esta possui  $300\text{ mAh}$ ,  $7.4\text{ V}$  de tensão nominal e ocupa um espaço de  $45\text{ mm} \times 12.5\text{ mm}$ .

### 3.2.2 Dimensões e Posicionamento

Após medições realizadas no dorso da luva vestida que serviu de modelo para o projeto, foi decidido que as dimensões máximas da placa de circuito impresso (PCI) deveriam ser de aproximadamente  $72\text{ mm} \times 58\text{ mm}$ . Sendo assim, usando o software QCAD, que é gratuito para o sistema Linux, e organizando os componentes dentro de suas dimensões aproximadas, chegou-se ao seguinte layout 8.

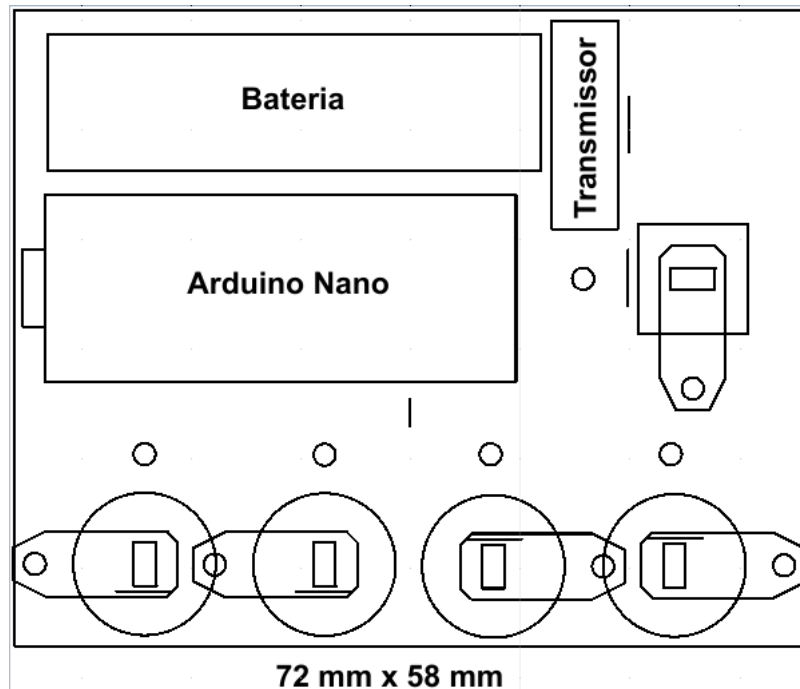


Figura 8 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes

### 3.3 Placa Embarcada

#### 3.3.1 Esquemático

Os primeiros experimentos de ligação e testes iniciais entre os componentes foram realizados ainda em protoborad. Um programa simples lia a variação de um resistor e mostrava na tela do computador. Isto foi usado para verificar como deveriam ser as conexões entre resistores, bateria, módulo transmissor e o microcontrolador Arduino.

O passo seguinte foi desenhar o esquemático no software gratuito Kicad 9. Esse programa permite a inclusão de componentes e ligações na criação do esquemático do circuito. Posteriormente, possibilita a criação de uma placa de circuito impresso baseada no esquemático desenhado anteriormente 10.

Com a placa de circuito finalizada no Kicad, o passo seguinte foi imprimir essa PCI em papel fotográfico e usar o método de transferência térmica para fabricar uma cópia em placa de fenolite. Posteriormente corroendo a placa em uma solução de percloroeto de ferro 11.

### 3.4 Movimento mecânico

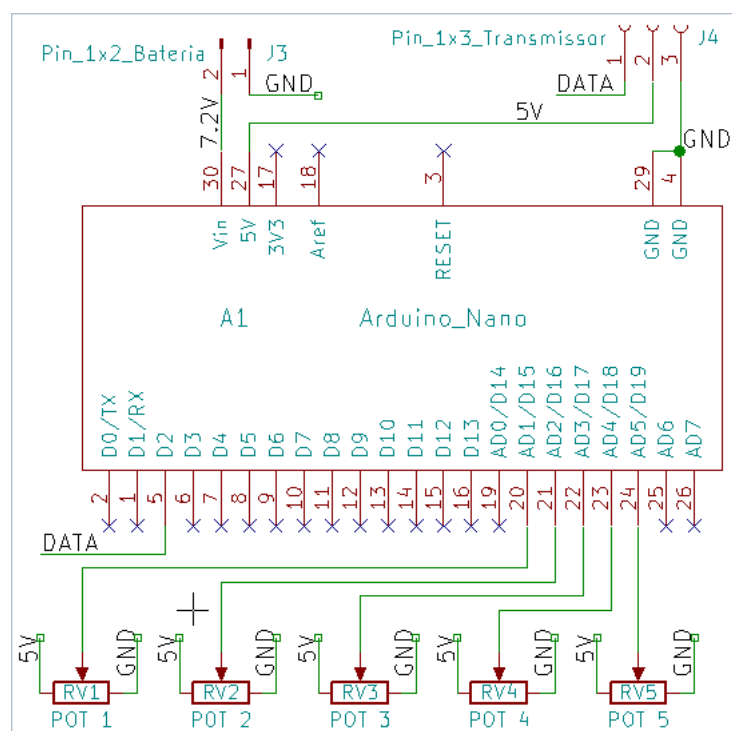


Figura 9 – Esquemático

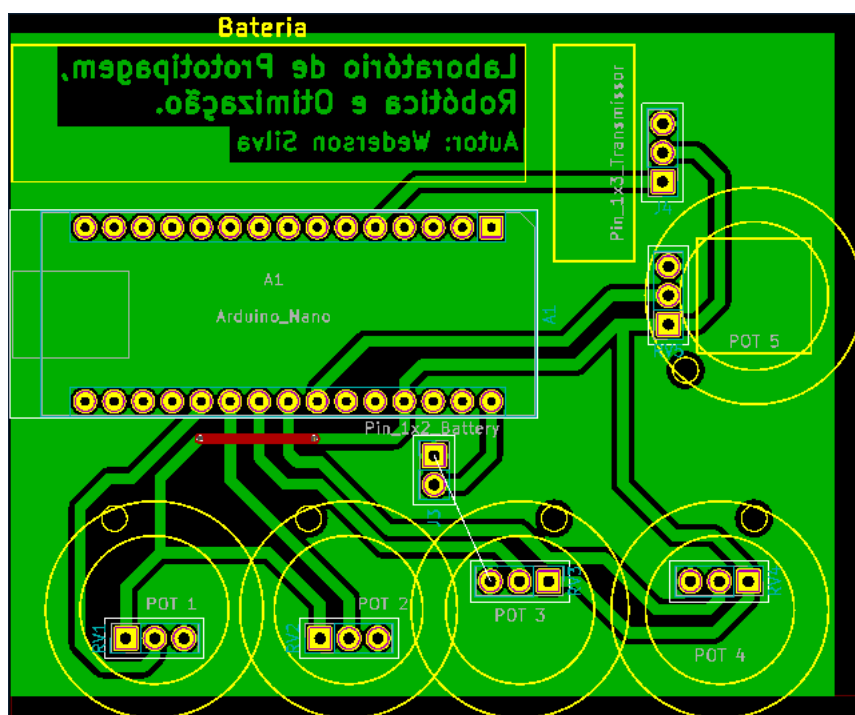


Figura 10 – Desenho da PCI

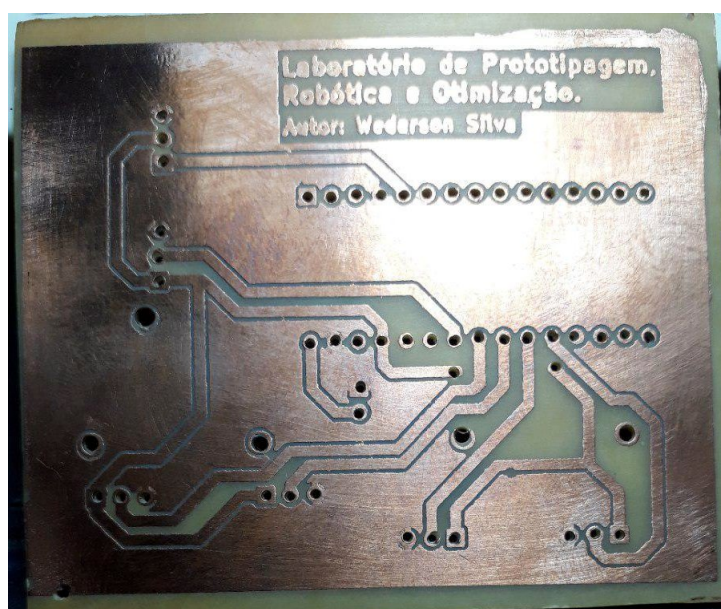


Figura 11 – Placa após transferência e corrosão



## 4 Análises e Resultados

### 4.1 Configurações

### 4.2 Testes

### 4.3 Resultados

## 5 Conclusão

### 5.1 Conclusões

### 5.2 Trabalhos Futuros

## Referências

BRAGA, N. C. *Curso de Eletrônica: Eletrônica Básica*. 1. ed. São Paulo - Brasil: Editora Newton C. Braga, 2012. v. 1. PAGES p. ISBN 8565050092, 9788565050098. Citado na página 15.

DIGITAL, I. *Módulo RF Transmissor + Receptor 433mhz - Instituto Digital*. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<http://www.institutodigital.com.br/pd-f7460-modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz.html?ct=76b8b&p=4&s=1>>. Citado na página 17.

LICENSE, C. C. A.-S. . *Arduino - Introduction*. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Citado na página 17.

LICENSE, C. C. A.-S. . *Arduino Nano*. Acessado em: 18/11/2018. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 17.

M, S. K. Indian sign languages using flex sensor glove. *IJETT*, v. 4, p. 2478–2480, 2013. ISSN 2231-5381. Disponível em: <<http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-6/IJETT-V4I6P149.pdf>>. Citado na página 15.

OLIVEIRA, R. K. de. *Dedo em Gatilho - Dr. Ricardo Kaempf - Cirurgia de Mão e Microcirurgia*. Acessado em: 07/08/2018. Disponível em: <<http://www.ricardokaempf.com.br/services/dedo-em-gatilho/>>. Citado na página 16.