



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

**SENSOR DE FLEXÃO DE BAIXO CUSTO**

**WEDERSON MEDEIROS SILVA**

BELÉM – PARÁ  
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

**WEDERSON MEDEIROS SILVA**

**SENSOR DE FLEXÃO DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação, do Instituto de Tecnologia, da Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações. Sob orientação de Prof. Dr. Roberto Menezes Rodrigues.

BELÉM – PARÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Prof. Dr. Clodoaldo Beckmann/ Universidade Federal do Pará, Belém-Pará

---

SILVA, Wederson Medeiros.

Sensor de Flexão de Baixo Custo / Wederson Medeiros Silva; orientador Prof. Dr. Roberto Menezes Rodrigues — 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Curso de Engenharia da Computação, Belém, 2018.

1. Área 2. Outra área I. Título.

CDD - 21.ed. 001.1

---

## SENSOR DE FLEXÃO DE BAIXO CUSTO

Este trabalho foi julgado adequado em 17/06/2018 para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia da Computação, aprovado em sua forma final pela banca examinadora que atribui o conceito \_\_\_\_\_.

---

Prof. Dr. Roberto Menezes Rodrigues  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

---

Prof. Dr. Marco José de Sousa  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA

---

Prof. Dr. Adaldery Castro  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA

---

Prof. Dr. Francisco Carlos Bentes Frey Müller  
DIRETOR DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA  
COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

*Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus  
ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor.  
Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non  
leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales,  
augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla  
arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec  
congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut,  
vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.*

# Agradecimentos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

*“Nam quis enim. Quisque ornare dui a tortor. Fusce  
consequat lacus pellentesque metus. Duis euismod.  
Duis non quam. Maecenas vitae dolor in ipsum auctor  
vehicula. Vivamus nec nibh eget wisi varius pulvinar.  
Cras a lacus. Etiam et massa. Donec in nisl sit amet  
dui imperdiet vestibulum. Duis porttitor nibh id eros. ”*  
*Autor*

# Resumo

SILVA, Wederson Medeiros. **Sensor de Flexão de Baixo Custo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

**Palavras-chave:** Sensor, Flex, Flexão, Baixo Custo, Sistema Embarcado.



# Abstract

SILVA, Wederson Medeiros. **Sensor de Flexão de Baixo Custo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

**Keywords:** Sensor, Flex, Bend, Low Cost, Embedded System.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>11</b>
2.1	Sensor Flex . . . . .	11
2.2	Potenciômetro . . . . .	11
2.3	Movimentação dos dedos . . . . .	12
2.4	Arduino . . . . .	13
2.5	Módulo RF 433 Mhz . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Trabalho Propriamente Dito</b>	<b>14</b>
3.1	Teoria da coisa . . . . .	14
3.2	Medidas e Posicionamento . . . . .	15
3.2.1	Componentes . . . . .	16
3.2.2	Dimensões e Posicionamento . . . . .	16
3.3	Placa Embarcada . . . . .	17
3.3.1	Esquemático . . . . .	17
3.4	Movimento mecânico . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Análises e Resultados</b>	<b>20</b>
4.1	Configurações . . . . .	20
4.2	Testes . . . . .	20
4.3	Resultados . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>21</b>
5.1	Conclusões . . . . .	21
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>22</b>
<b>A</b>	<b>Algum apêndice</b>	<b>23</b>

<b>B Outro apêndice</b>	<b>24</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>25</b>

# Capítulo 1

## Introdução

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

# Capítulo 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. [1]

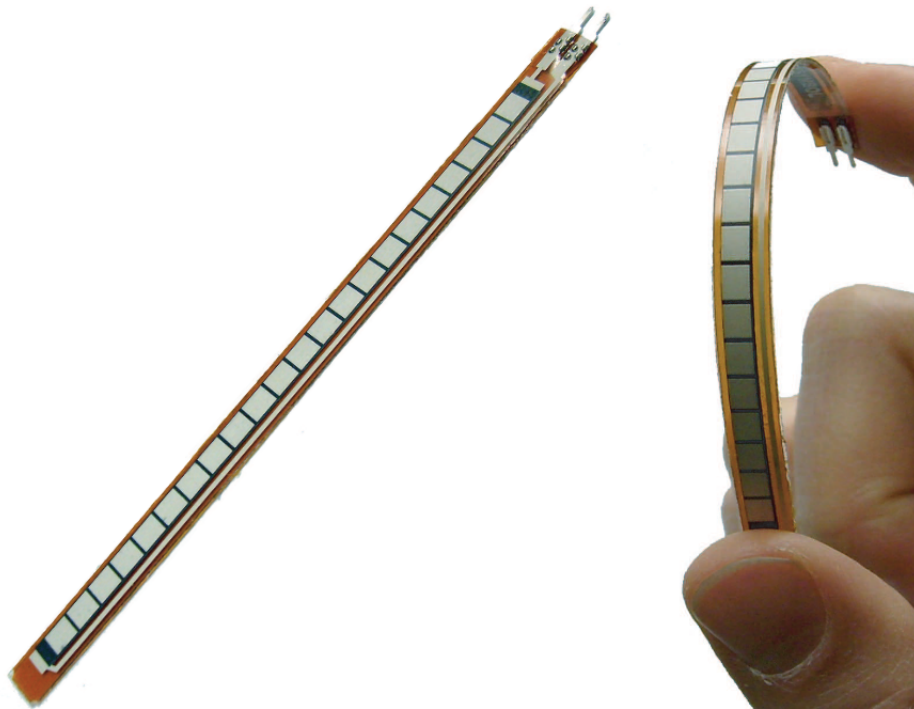


Figura 2.1: Sensor Flex

### 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 [2].

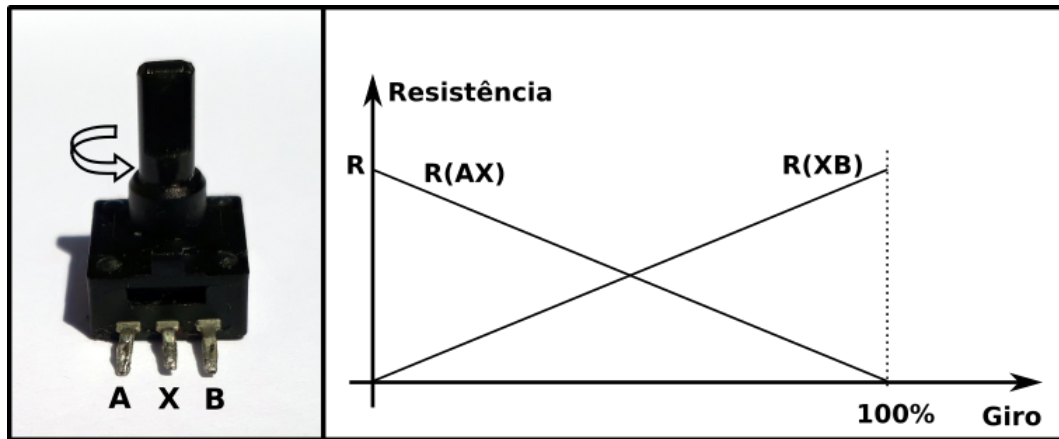


Figura 2.2: Funcionamento do potenciômetro linear

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. [3]

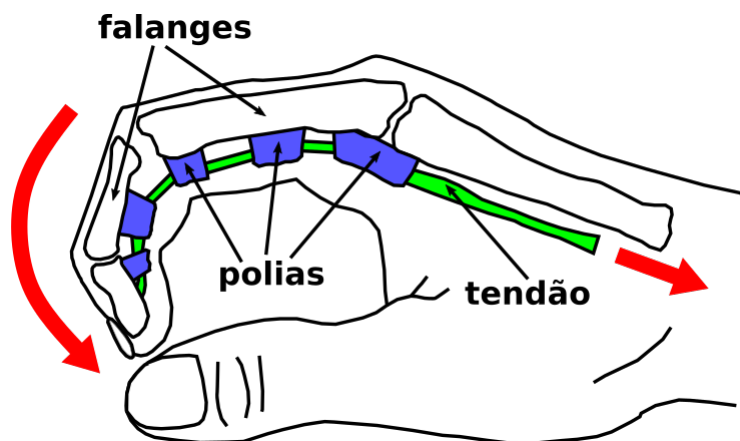


Figura 2.3: Movimento do dedo através do tendão

## 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.[4]

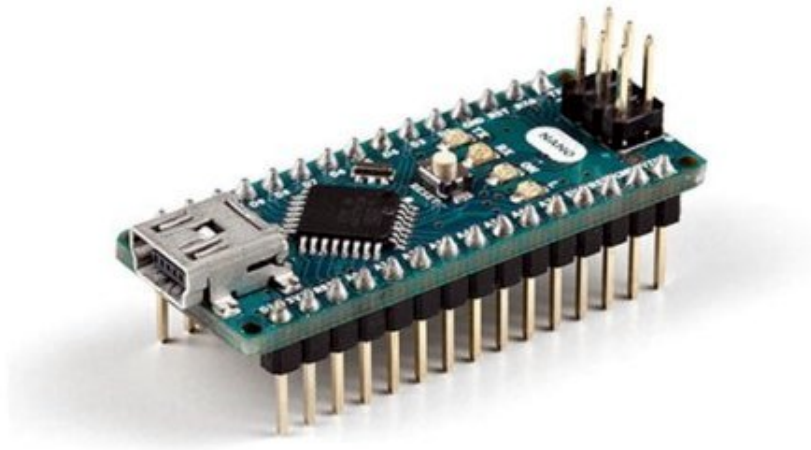


Figura 2.4: Placa Arduino modelo Nano [5]

## 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.[6]

# Capítulo 3

## Trabalho Propriamente Dito

### 3.1 Teoria da coisa

Como foi demonstrado na figura 2.3, 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.

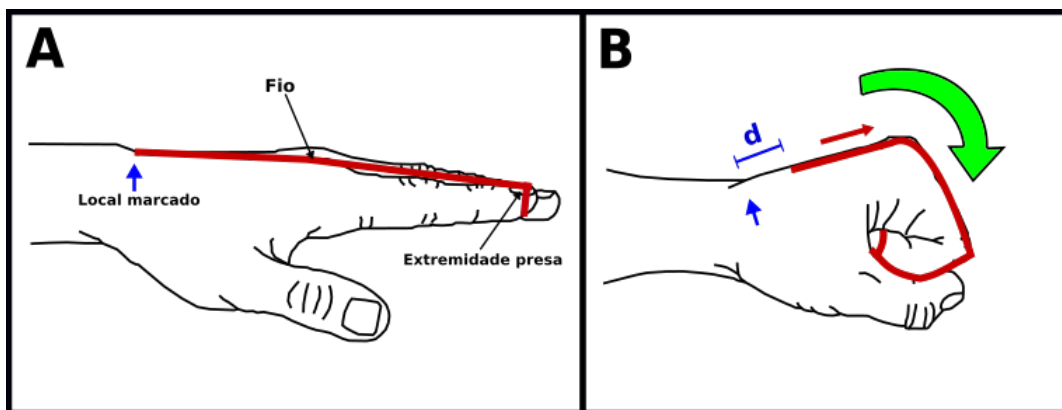


Figura 3.1: Mão em posição inicial (A) e após a flexão dos dedos (B)

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.

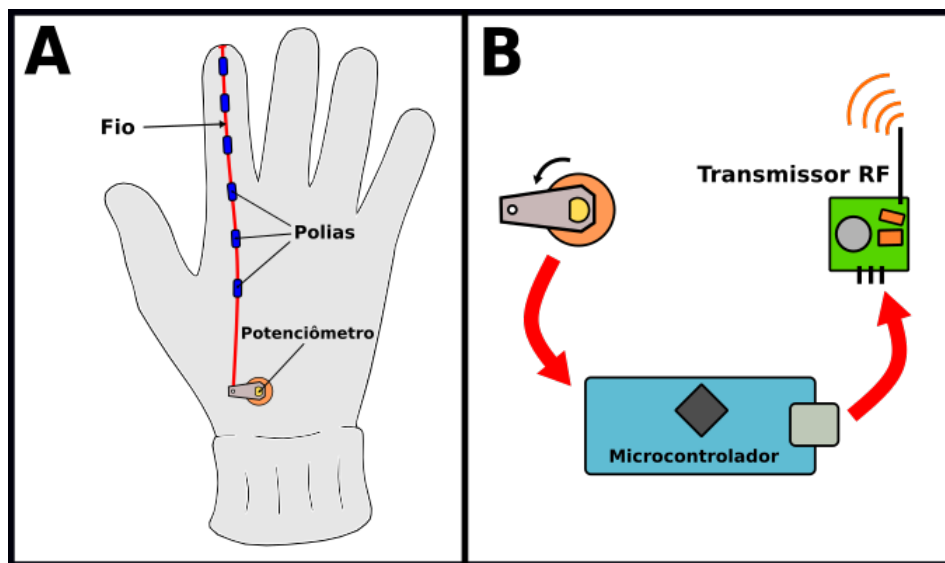


Figura 3.2: Captação (A) e transmissão do sinal (B)

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 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.

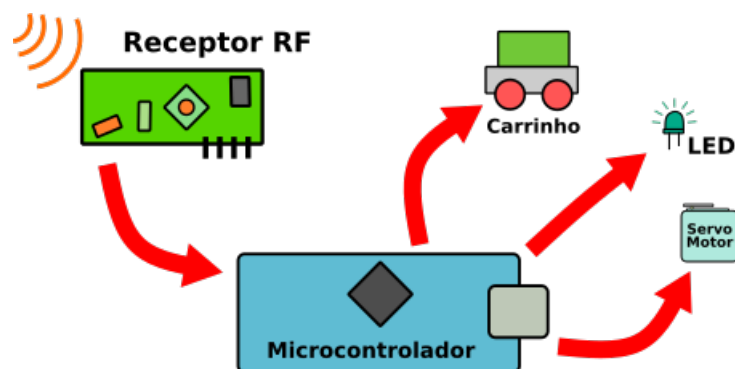


Figura 3.3: Recepção e processamento do sinal

## 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 3.2.2.

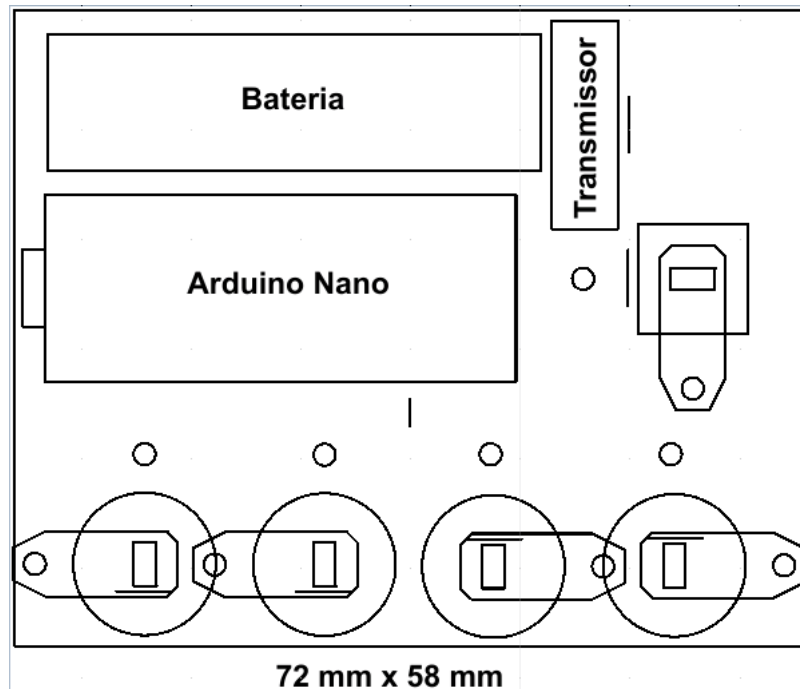


Figura 3.4: Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes

## 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 3.3.1. 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 3.3.1.

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 3.3.1.

## 3.4 Movimento mecânico

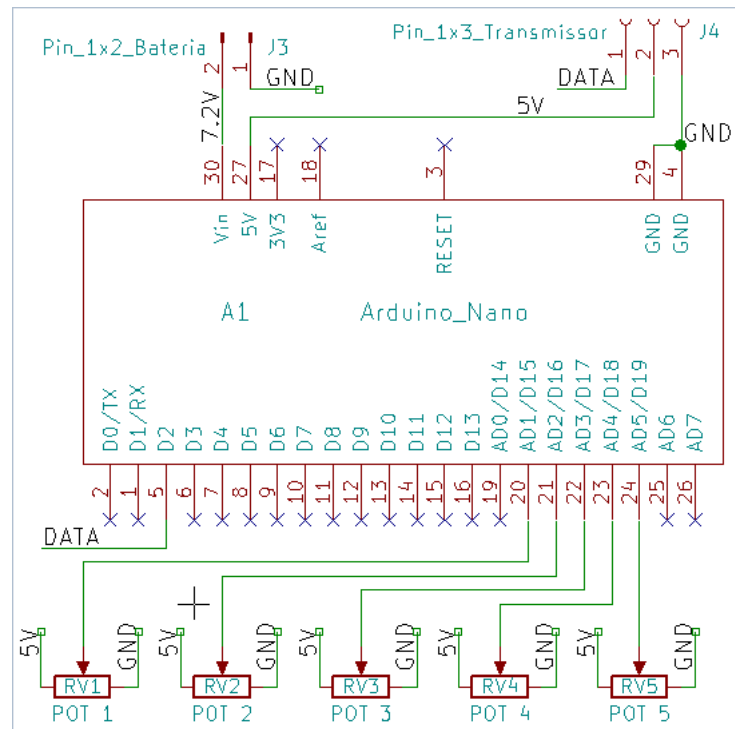


Figura 3.5: Esquemático

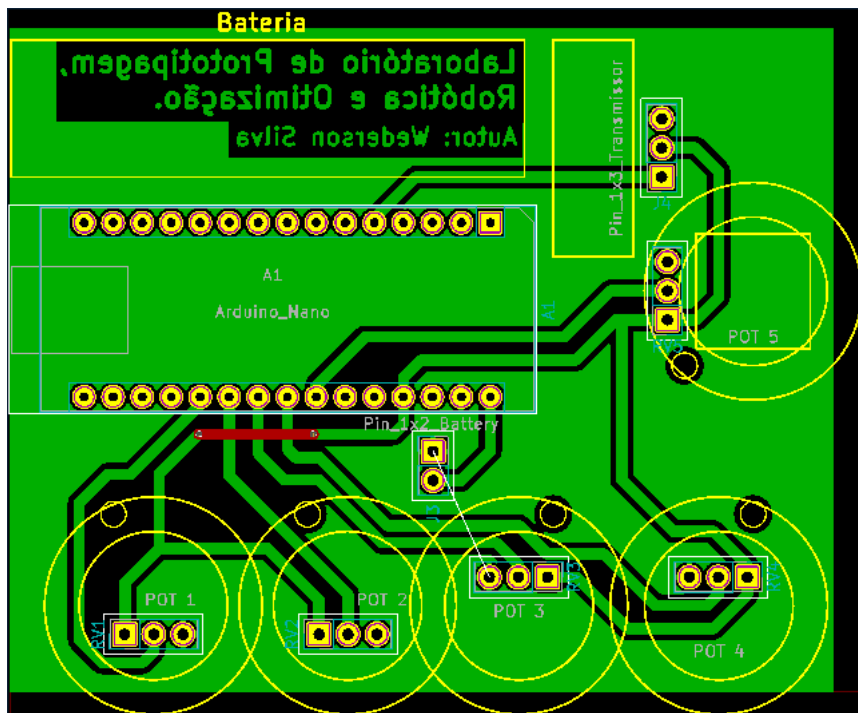


Figura 3.6: Desenho da PCI

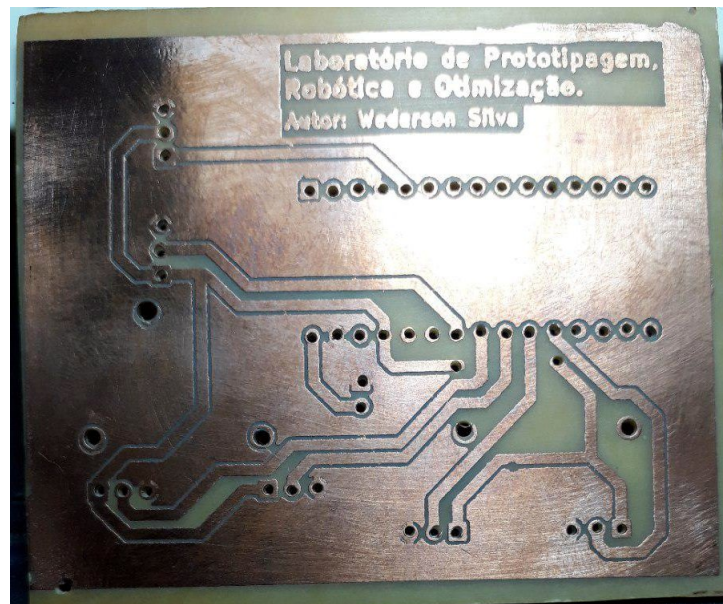


Figura 3.7: Placa após transferência e corrosão

# Capítulo 4

## Análises e Resultados

### 4.1 Configurações

### 4.2 Testes

### 4.3 Resultados

# Capítulo 5

## Conclusão

### 5.1 Conclusões

### 5.2 Trabalhos Futuros

# Capítulo 6

## Revisão Bibliográfica

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Apêndice A

Algum apêndice

Apêndice B

Outro apêndice

# Referências Bibliográficas

- [1] S. K. M, “Indian sign languages using flex sensor glove,” *IJETT*, vol. 4, pp. 2478–2480, 2013. [Online]. Available: <http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-6/IJETT-V4I6P149.pdf>
- [2] N. C. Braga, *Curso de Eletrônica: Eletrônica Básica*, 1st ed. São Paulo - Brasil: Editora Newton C. Braga, 2012, vol. 1.
- [3] R. K. de Oliveira. Dedo em Gatilho - Dr. Ricardo Kaempf - Cirurgia de Mão e Microcirurgia. Acessado em: 07/08/2018. [Online]. Available: <http://www.ricardokaempf.com.br/services/dedo-em-gatilho/>
- [4] C. C. A.-S. . License. Arduino - Introduction. Acessado em: 12/08/2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [5] ——. Arduino Nano. Acessado em: 18/11/2018. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
- [6] I. Digital. Módulo RF Transmissor + Receptor 433mhz - Instituto Digital. Acessado em: 12/08/2018. [Online]. Available: <http://www.institutodigital.com.br/pd-f7460-modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz.html?ct=76b8b&p=4&s=1>
- [7] A. Online. (ANO, MÊS) Título online. [Online]. Available: <https://www.exemplo.com/algumacoisa>