



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. Universi-
dade 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-

33 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 Enge-
nharia da Computação. Instituto de Tecnolo-
gia. 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 – Movimento do dedo através do tendão.	16
Figura 2 – Sensor de Flexão.	17
Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear.	17
Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano.	18
Figura 5 – Módulos RF transmissor (esq.) e receptor (dir.).	18
Figura 6 – (a) Sistema biomecânico e (b) sistema desenvolvido.	20
Figura 7 – (a) Mão em posição inicial e (b) Mão após flexão.	20
Figura 8 – Movimentos da luva de (a) flexão e (b) extensão.	21
Figura 9 – Combinação de flexões e extensões para controle do carrinho	25
Figura 10 – (a) Transmissão do sinal. (b) Recepção do sinal.	26
Figura 11 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria.	28
Figura 12 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes.	28
Figura 13 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI.	29
Figura 14 – (a) Placa de fenolite cobreada e (b) resultado final.	29
Figura 15 – Luva montada.	30

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores de A para B	23
Tabela 2 – Valores de A para B e remapeados (R).	24

Lista de abreviaturas e siglas

AM	<i>Amplitude Modulation</i>
I	Corrente
IDE	<i>Integrated Development Interface</i>
$k\Omega$	<i>Kilohm</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LiPo	<i>Lithium-ion Polymer</i>
mAh	<i>Milliampere Hour</i>
Mhz	<i>Megahertz</i>
mm	<i>Millimeter</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
R	Resistência
RF	<i>Radio Frequency</i>
V	Tensão

Lista de símbolos

α	Contante de atenuação
β	Contante de fase
γ	Contante de propagação
Γ_L	Coeficiente de reflexão na carga
δ	Constante da restrição de potência transmissão
Δ_f	Subcanais ou tons em Hz
Γ	Gap de <i>RSIR</i>
Λ	Matriz que contém os elementos da diagonal principal de H
ρ	Máscara espectral utilizada pelo sistema DSL
σ^2	Densidade espectral de potência do ruído Gaussiano branco aditivo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Movimentação dos dedos	16
2.2	Sensor Flex	16
2.3	Potenciômetro	16
2.4	Arduino	17
2.5	Módulo RF 433 Mhz	18
3	TRABALHO PROPRIAMENTE DITO	19
3.1	Introdução	19
3.2	Mecânica Bioinspirada	19
3.2.1	Transdutor de Flexão	19
3.2.2	Adaptação na Luva	19
3.3	Programação do microcontrolador	21
3.3.1	Digitalização do sinal	21
3.3.2	VirtualWire	22
3.4	Ajustes	23
3.4.1	Introdução	23
3.4.2	Deslocamento e número de posições	23
3.4.3	Remapeamento	24
3.5	Protocolo de comunicação	24
3.5.1	Introdução	24
3.5.2	Posições e movimentos	25
3.5.3	Software de recepção	25
3.6	Assembling	25
3.7	Transmissão e Recepção de Dados	26
3.8	Medidas e Posicionamento	26
3.8.1	Componentes	27
3.8.2	Dimensões e Posicionamento	27
3.9	Placa Embarcada	28
3.9.1	Esquemático	28
3.10	Montagem	30
4	ANÁLISES E RESULTADOS	31
4.1	Configurações	31

4.2	Testes	31
4.3	Resultados	31
5	CONCLUSÃO	32
5.1	Conclusões	32
5.2	Trabalhos Futuros	32
	REFERÊNCIAS	33

1 Introdução

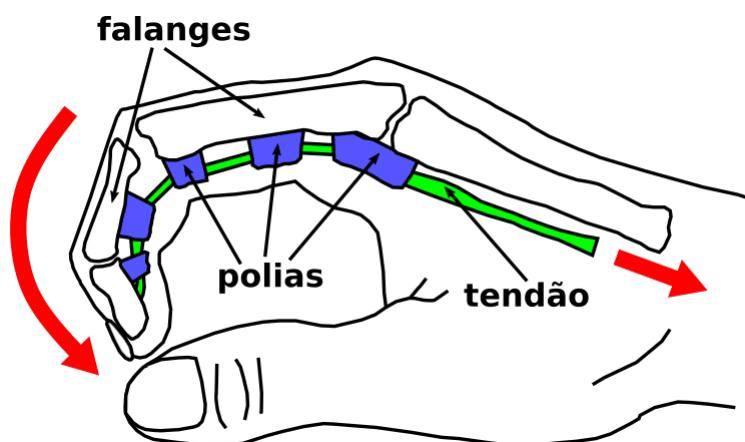
Contextualização; Estado da arte (se tiver); Motivação; O que vai fazer; Metodologia; O que terá no resto do documento;

2 Referencial Teórico

2.1 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, 2018)

Figura 1 – Movimento do dedo através do tendão.



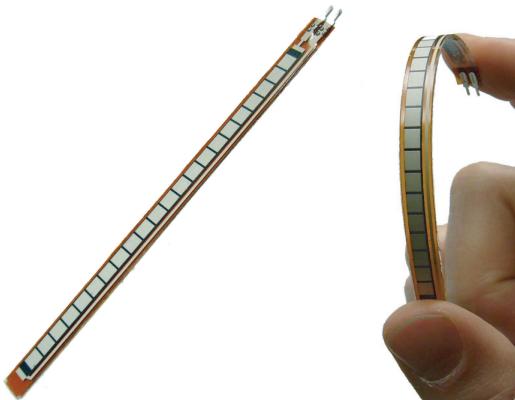
2.2 Sensor Flex

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).

2.3 Potenciômetro

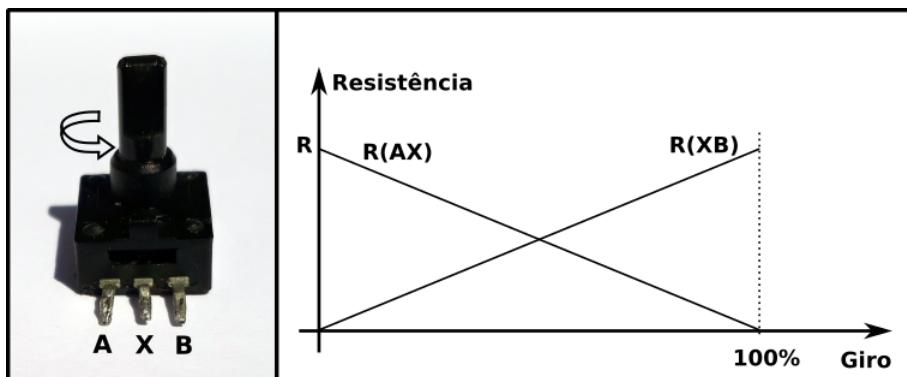
O potenciômetro é um componente eletrônico que permite, através do giro do seu eixo, a variação da resistência entre seus terminais. Eles são constituídos por um elemento de resistência, que pode ser de carbono ou fio de nicromo, sobre o qual corre uma lingueta, denominada cursor. Dentre as características 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 – Sensor de Flexão.



Fonte – Site Sparkfun.

Figura 3 – Funcionamento do potenciômetro linear.



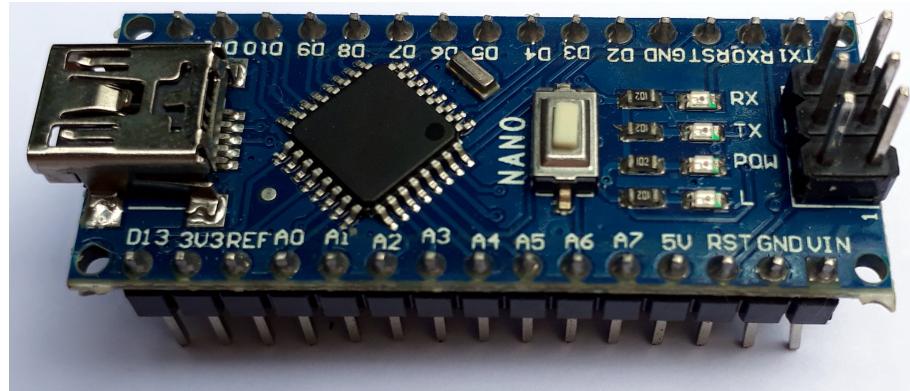
Fonte – Modificado de (BRAGA, 2012).

Segundo a lei de Ohm ($V = R \cdot I$), 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.

2.4 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto 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. 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 IDE (*Integrated Development Interface*), que por sua vez, envia as instruções necessárias para o microcontrolador instalado na placa.(LICENSE, 2018)

Figura 4 – Placa Arduino modelo Nano.

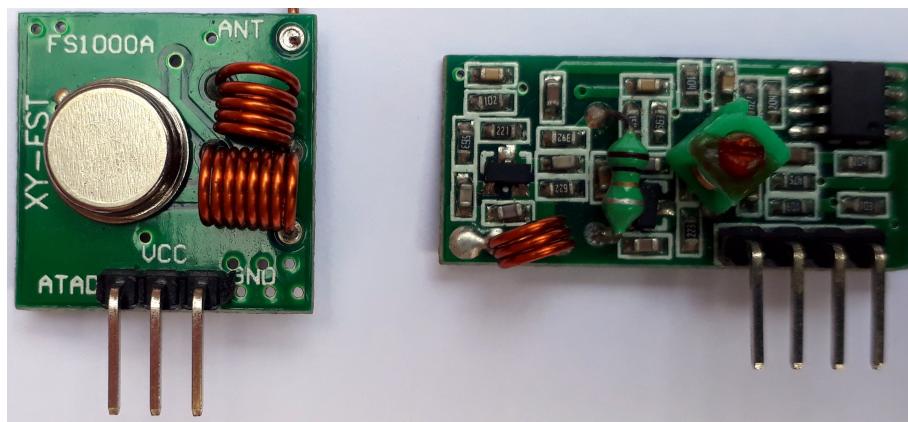


Fonte – Produzido pelo autor.

2.5 Módulo RF 433 Mhz

O módulo de RF (Rádio Frequênciā) 433 Mhz é composto por um par que contém um transmissor e um receptor, opera com modulação AM (*Amplitude Modulation*) 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, 2018)

Figura 5 – Módulos RF transmissor (esq.) e receptor (dir.).



Fonte – Produzido pelo autor.

3 Trabalho Propriamente Dito

3.1 Introdução

O capítulo a seguir está organizado em 5 seções. Na primeira delas explica-se a movimentação mecânica do sistema e como as posições de flexão e extensão dos dedos são obtidas pelo microcontrolador. A segunda aborda a programação do microcontrolador, mais precisamente o tratamento dos dados recebidos a partir dos potenciômetros. A terceira seção explica os ajustes realizados em software. A quarta explica o protocolo criado para controlar um carrinho via rádio frequência. A quinta e última seção explica como o sistema foi montado.

3.2 Mecânica Bioinspirada

3.2.1 Transdutor de Flexão

Como foi demonstrado no movimento de flexão da figura 1, através dos tendões, têm-se a movimentação dos dedos na mão. Baseado nessa biomecânica, foi desenvolvido um sistema mecânico semelhante, com o intuito de criar um transdutor de flexão de dedos atrelado a um microcontrolador.

No sistema biomecânico, resumidamente, uma das extremidades do tendão está presa nas falanges do dedo enquanto sua extensão desliza por dentro de polias até o músculo. No sistema desenvolvido, cada transdutor é composto por uma linha de náilon presa ao dedo da luva, guiada através de pequenos segmentos plásticos até o cursor de um potenciômetro. A figura 6 demonstra um pouco dos dois sistemas.

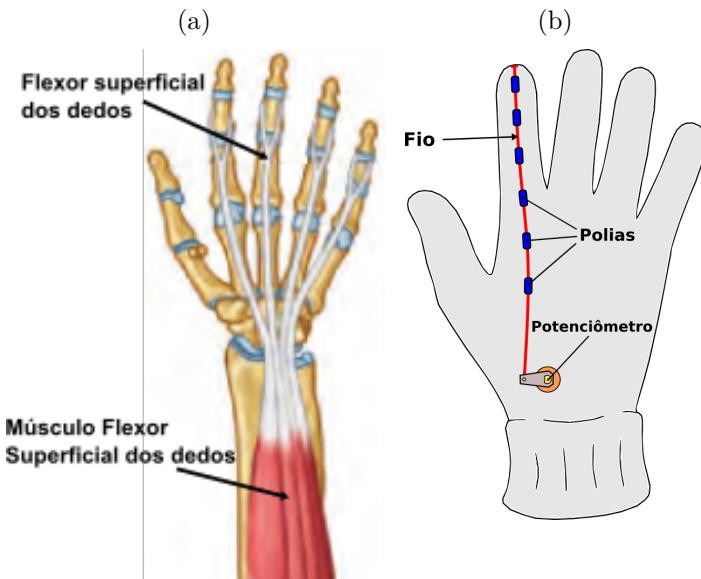
Para verificar se no sistema criado haveria deslocamento do fio durante a flexão dos dedos, com a mão inicialmente estendida com o dorso voltado para cima, uma das pontas de um fio foi presa na extremidade de um dos dedos. O local da outra ponta do fio foi marcada no dorso mão. Como é demonstrado na figura 7 (a).

Após a flexão dos dedos, o fio se movimentou em uma direção e criou um deslocamento (d) do fio em relação ao ponto marcado, mostrado na figura 7 (b).

3.2.2 Adaptação na Luva

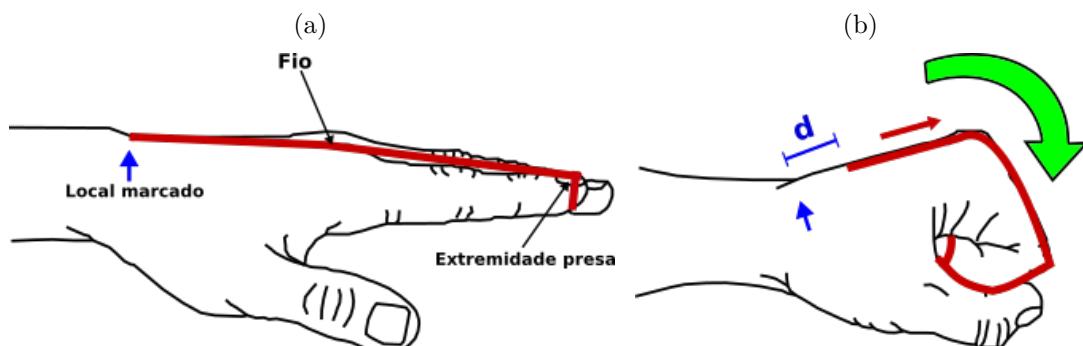
Após o sistema mecânico ser embarcado na luva, com a mão estendida e mantendo o fio de náilon tensionado, ao flexionar o dedo, o fio é puxado pela ponta do dedo e com isso o cursor do potênciometro é variado. Porém, após a flexionar os dedos, ao realizar o

Figura 6 – (a) Sistema biomecânico e (b) sistema desenvolvido.



Fonte – (a) Adaptado de (MOORE; DALLEY; AGUR, 2013) e (b) produzido pelo autor.

Figura 7 – (a) Mão em posição inicial e (b) Mão após flexão.



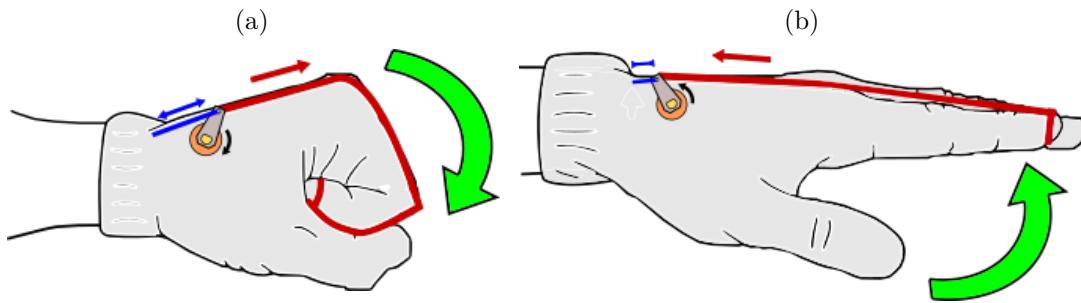
Fonte – Produzido pelo autor.

movimento inverso (extenção), não há força que movimente o fio de náilon e nem o cursor do potenciômetro de volta às suas posições iniciais.

Para possibilitar que o sistema retorne à sua posição inicial, um pequeno elástico foi instalado junto ao cursor do potenciômetro. Usando o elástico durante o movimento de flexão, o cursor gira e estica o elástico. Estando esticado, o elástico busca retomar sua posição de equilíbrio realizando uma força contrária para girar o cursor de volta à sua posição inicial. Figura 8 (a).

Quando há o movimento de extensão do dedo, o elástico puxa o cursor do potenciômetro girando-o em sentido inverso ao que ocorreu durante a flexão. Isso acontece enquanto o elástico estiver esticado o suficiente para exercer força sobre o cursor do potenciômetro. Demonstrado na figura 8 (b)

Figura 8 – Movimentos da luva de (a) flexão e (b) extensão.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.3 Programação do microcontrolador

3.3.1 Digitalização do sinal

Na luva, além do transdutor, há um microcontrolador que capta os movimentos do potenciômetro e os digitaliza. O sinal chega em portas analógicas de um Arduino modelo Nano que converte a variação de tensão do potenciômetro em valores inteiros entre 0 e 1023.

Para facilitar a abordagem do trabalho, cada dedo da luva e seu respectivo potenciômetro é representado por um número de 1 a 5, começando pelo dedo mínimo (1) até o polegar (5). Também foram definidas duas posições principais para analisar o movimento dos dedos. Posição A: Quando todos os dedos estiverem estendidos. Posição B: Quando todos os dedos estiverem flexionados. Algo semelhante à figura 8.

Para cada posição, o potenciômetro apresenta uma média de valores digitais. Por exemplo, quando o dedo mínimo (1) está estendido (posição A), seu respectivo potenciômetro apresenta valores em torno de 191. Quando esse dedo é totalmente flexionado (posição B) seus valores ficam em torno de 616.

Porteriormente, para diminuir o tamanho da mensagem a ser enviada, o valor digital apresentado pelo potenciômetro é remapeado para uma faixa de valores inteiros que representam posições inteiras entre 0 e 9. Quando os valores de todos os potenciômetros são remapeados, eles são concatenados em um único número de 5 dígitos, no qual cada dígito representa cada um dos cinco dedos da esquerda para a direita.

Por exemplo, em uma mensagem "69071" o dedo 1 (mínimo) está na posição 6, o dedo 2 (anelar) está na posição 9 e assim sucessivamente até o dedo 5 (polegar) que está na posição 1.

3.3.2 VirtualWire

VirtualWire é uma biblioteca de comunicação para Arduino que possibilita vários Arduinos se comunicarem usando transmissores e receptores RF de baixo custo. Essa biblioteca permite o envio de mensagens curtas, sem endereçamento, retransmissão ou confirmação, como se fosse uma espécie de protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), usando modulação ASK (*Amplitude Shift Keying*) (MCCAULEY, 2013).

O uso dessa biblioteca nos códigos da IDE do Arduino, permite abstrair tratamentos de envio e recebimento de dados tais como, sincronização de padrões, balanceamento de bits 0 e 1, e checagem de erros (PAUL, 2018). Dessa forma, para enviar e receber mensagens, basta seguir os padrões de entrada e saída das funções descritas na biblioteca.

No código embarcado no microcontrolador da luva foram definidos, segundo os parâmetros da biblioteca, o pino do transmissor RF, a taxa de transmissão e o tamanho da mensagem a ser enviada. Porém, antes de efetivamente enviar a mensagem é preciso convertê-la em uma string que logo em seguida será transformada em um vetor de char, que é o formato de dado aceito pela função de envio.

Uma das formas de converter valores inteiros em string é concatenar o valor inteiro com uma string (SM, 2018). Por isso, no código desenvolvido, uma string vazia é somada aos valores inteiros remapeados dos potenciômetros. Com isso, os valores serão concatenados e transformados em uma string ao mesmo tempo. Essa string então é transformada em um vetor de char usando a função "toCharArray" antes de ser enviada. Este processo está descrito resumidamente no pseudocódigo abaixo.

```
// Inicia variaveis
string vazia = ""
string mensagem = ""

// Recebe as posicoes de cada dedo
int dedo1 = posicao_dedo1;
int dedo2 = posicao_dedo2;
int dedo3 = posicao_dedo3;
int dedo4 = posicao_dedo4;
int dedo5 = posicao_dedo5;

// Concatena os inteiros e os transforma em string
mensagem = vazia + dedo1 + dedo2 + dedo3 + dedo4 + dedo5;

// Converte a string em um vetor de char
mensagem = mensagem.toCharArray();

// Envia o vetor de char
vw_send(mensagem);
```

3.4 Ajustes

3.4.1 Introdução

Quando os dedos estão em um mesmo grau de flexão, na grande maioria das vezes, os valores detectados para cada dedo são diferentes. Quando a luva está em posição A (extendida), por exemplo, o valor detectado no dedo mínimo (1) fica em torno de 192, enquanto que o anelar (2) apresenta, ao mesmo tempo, um valor em torno de 141.

Além do mais, devido à posição em que cada potenciômetro foi soldado na placa embarcada, alguns potênciômetros apresentam deslocamentos positivos ou negativos para um mesmo movimento.

3.4.2 Deslocamento e número de posições

Para descobrir os valores de deslocamento, cada potenciômetro teve seu valor digital anotado para as posições A e B, que posteriormente foram usados na equação 3.1:

$$\Delta Pos = PosB - PosA \quad (3.1)$$

Usando o módulo de ΔPos é possível calcular o número de posições detectáveis partindo da Posição A até a Posição B, através da equação 3.2:

$$NPos = |\Delta Pos| + 1 \quad (3.2)$$

A tabela 1 mostra os valores obtidos e calculados para cada um dos cinco potenciômetro no deslocamento da posição A para a posição B.

Tabela 1 – Valores de A para B

Dedo	PosA	PosB	ΔPos	NPos
1	191	616	+425	426
2	140	609	+469	470
3	774	360	-414	415
4	728	475	-253	254
5	670	367	-303	304

Fonte – Produzido pelo autor

Quanto maior for o valor de NPos na tabela 1, mais preciso será o sensoriamento do dedo. Sendo assim, o anelar (2) é o dedo com maior potencial de sensoriamento, enquanto que o indicador (4) possui menor potencial.

3.4.3 Remapeamento

Com o intuito de diminuir o tamanho da mensagem a ser enviada pelo transmissor de rádio frequência, foi definido que cada potenciômetro teria apenas 10 níveis de deslocamento representados durante a transmissão. Dessa forma, em uma mensagem numérica, bastaria 1 dígito para representar a posição atual do dedo.

Junto a isso, para diminuir a complexidade do protocolo de comando, foi decidido que não haveriam deslocamentos negativos. Algo que acontece nos dedos 3, 4 e 5 durante o deslocamento de A para B.

Para se adequar aos requisitos descritos, no código embarcado foi usada a função "map", que permite remapear uma faixa de valores em outra menor. Usando tal função, a faixa de entrada que inicialmente poderia variar entre 0 e 1023, foi remapeada para variar entre 0 e 9 valores inteiros.

Além do mais, a função map também permite inverter a saída, de uma forma que os valores de entrada que variam de 1023 a 0 (decrescente) passarão a variar de 0 a 9 (crescente). Este último requisito, permite eliminar os deslocamentos negativos.

Usando as equações 3.1 e 3.2, os valores digitais remapeados (R) foram adicionados à tabela 1, criando a tabela 2:

Tabela 2 – Valores de A para B e remapeados (R).

Dedo	PosA (RA)	PosB (RB)	Δ Pos (Δ R)	NPos (NR)
1	191 (1)	616 (5)	+425 (+4)	425 (5)
2	140 (1)	609 (5)	+469 (+4)	469 (5)
3	774 (3)	360 (6)	-414 (+3)	414 (4)
4	728 (3)	475 (5)	-253 (+2)	253 (3)
5	670 (4)	367 (6)	-303 (+2)	303 (3)

Fonte – Produzido pelo autor

3.5 Protocolo de comunicação

3.5.1 Introdução

Através de um transmissor de rádio frequência, o sistema embarcado na luva envia constantemente mensagens de 5 dígitos que indicam a posição de cada um dos cinco dedos. Para receber esse sinal, é preciso usar um módulo receptor de rádio frequência compatível com o transmissor.

Um sistema receptor foi embarcado em um carrinho usando um segundo microcontrolador Arduino modelo Nano e um módulo receptor RF. Esse carrinho funciona com

motores DC (*Direct Current*) e todo o sistema é alimentado por uma bateria LiPo.

Para possibilitar o controle, conjuntos de posições dos dedos pré definidas indicam movimentos a serem seguidos pelo carrinho.

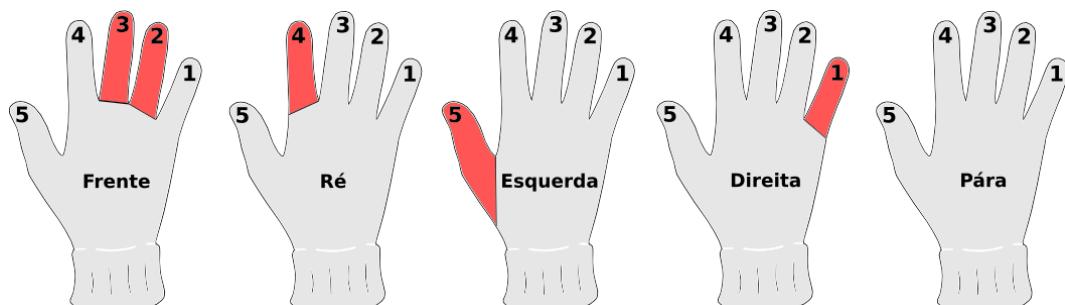
3.5.2 Posições e movimentos

Como foi explicado anteriormente, a mensagem transmitida pela luva consiste em conjunto de 5 dígitos no qual cada um deles indica posições de cada dedo. Usando o lado esquerdo como referência, o primeiro dígito indica a posição do dedo 1, que é o dedo mínimo. O segundo dígito indica a posição do dedo 2, ou seja, o dedo anelar. Essa lógica segue até o quinto dígito que representa a posição do dedo polegar.

5 comandos foram definidos para o carrinho, ir para frente, ir para trás, girar para a esquerda, girar para a direita e parar. Com o intuito de controlar o carrinho através de combinações de flexões e extensões de dedos, 5 conjuntos de posições foram definidas, flexionar os dedos 2 e 3 simultaneamente, flexionar somente o dedo 4, flexionar somente o dedo 5, flexionar o dedo 1 e não flexionar nenhum dedo.

A figura 9 mostra a correspondência entre cada combinação de flexão dos dedos e seu respectivo comando para o carrinho. Apenas os dedos indicados em vermelho devem ser flexionados para validar o comando. Qualquer outra combinação faz o carrinho parar.

Figura 9 – Combinação de flexões e extensões para controle do carrinho



Fonte – Produzido pelo autor.

3.5.3 Software de recepção

3.6 Assembling

Também é possível notar que alguns deslocamentos são positivos enquanto outros são negativos. Isso se dá porque os potôniometros 1 e 2 foram instalados com seus cursores em sentido oposto aos potôniometros 3 e 4. Com o intuito de minimizar o espaço entre eles na placa. Isso pode ser observado na figura 15.

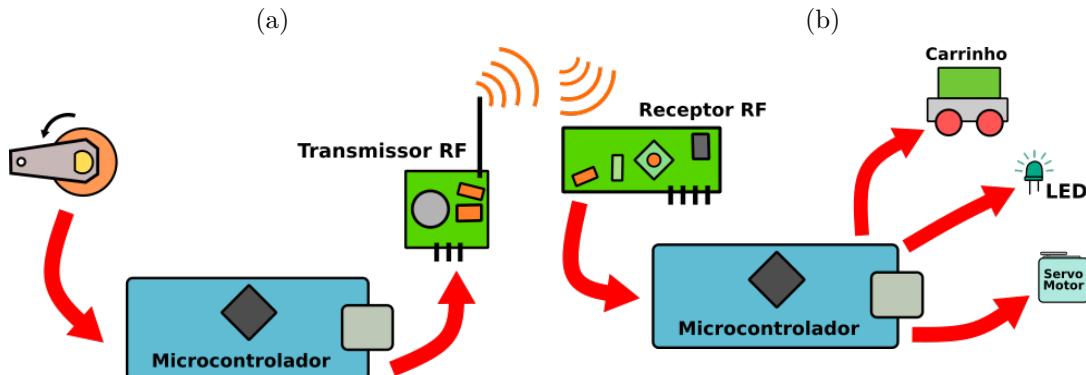
Por conta desse fato, durante o movimento de flexão, os potenciômetros 1 e 2 giram em sentido anti-horário e possuem deslocamento positivo, enquanto os demais giram em sentido horário com deslocamento negativo. No caso do potenciômetro 5, apesar de girar em sentido anti-horário, ele possui um deslocamento negativo. Isso porque foi soldado em posição reversa aos demais, com o propósito de maximizar sua aderência na placa.

3.7 Transmissão e Recepção de Dados

Como foi descrito, durante a movimentação dos dedos, a posição do cursor do potenciômetro é modificada. Sendo assim, para possibilitar o sensoriamento, a variação de cada potenciômetro é captada por um microcontrolador que processa esse sinal antes de despachá-lo para o transmissor. Este por sua vez envia mensagens por rádio frequência, em formato de números inteiros que representam a posição atual de cada dedo. Figura 10 (a).

O módulo receptor de rádio frequência, capta as mensagens e as envia a outro microcontrolador. Este por sua vez, processa a mensagem e transmite aos respectivos componentes e atuadores daquela aplicação. Figura 10 (b).

Figura 10 – (a) Transmissão do sinal. (b) Recepção do sinal.



Fonte – Produzido pelo autor.

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.

3.8 Medidas e Posicionamento

O sistema de captação e transmissão de sinal que seria embarcado na luva, foi projetado para ser móvel, leve, alimentado por uma bateria, caber no dorso da mão e ter custo relativamente menor em relação à soluções com sensores flex tradicionais. O sistema

dever ser de fácil reprodução e o mais adaptável possível à outras formas de transmissão além da rádio frequência, caso sejam necessárias futuramente.

3.8.1 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. 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 de resistência possível, facilitando assim a percepção pelo microcontrolador.

O modelo de potenciômetro que mais se aproximou das especificações acima foi retirado de servomotores modelo MG996R da marca TowerPro. O potenciômetro encontrado possui dimensão aproximada de $13mm \times 13mm$, resistência máxima de $5k\Omega$, giro máximo de 200° (aproximado) e oferece pouca resistência para girar seu cursor.

Um pequeno pedaço de PVC (*Polyvinyl Chloride*) expandido foi adaptado ao cursor do potenciômetro para facilitar o seu giro, amarrar uma das extremidades do fio de náilon e para prender um elástico. Essa adaptação pode ser vista na figura 11 (a).

O microcontrolador escolhido para processar os dados recebidos de cada potenciômetro foi o Arduíno modelo Nano. Isso porque ele é leve, ocupa uma área de apenas $45mm \times 17mm$, 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.

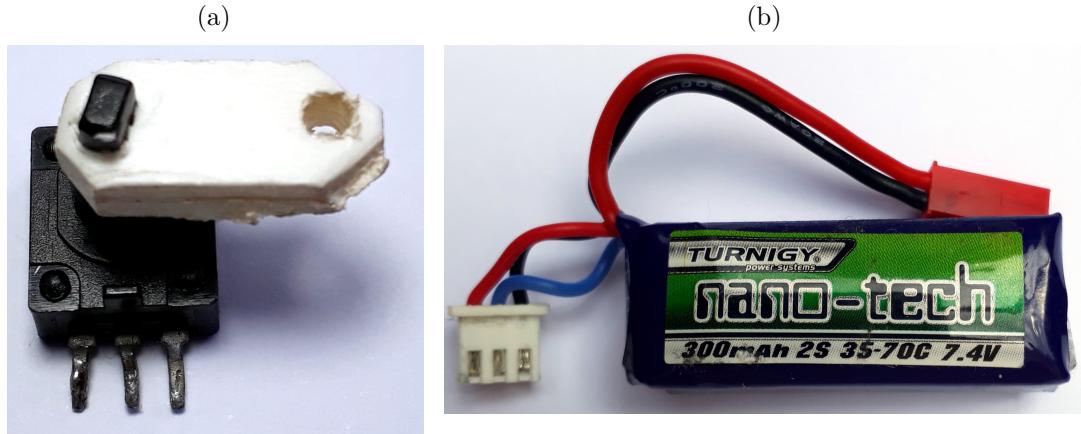
Para transmitir e receber o sinal, foi escolhido o par de RF $433Mhz$, que é leve e de baixo custo comparado à outras soluções de transmissão de dados.

Finalmente, para alimentar esse aparato eletrônico, foi escolhida uma pequena bateria LiPo (*Lithium-ion Polymer*) que possui capacidade de $300mAh$, $7.4V$ de tensão nominal e ocupa um espaço de $45mm \times 12.5mm$. Esse modelo é mostrado na figura 11 (b).

3.8.2 Dimensões e Posicionamento

Após medições realizadas na luva que serviu de modelo para o projeto, foi decidido que as dimensões máximas da PCI (Placa de Circuito Impresso) deveriam ser de aproximadamente $72mm \times 58mm$. Isso para que a placa não ficasse muito maior do que o dorso

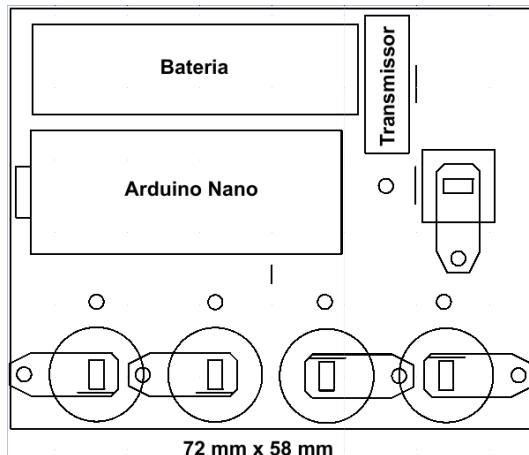
Figura 11 – (a) Potenciômetro adaptado e (b) bateria.



Fonte – Produzido pelo autor.

da luva. Sendo assim, usando o software QCAD, que é gratuito para os sistemas Linux, todos os componentes foram organizados dentro da placa baseados em suas dimensões aproximadas. Chegando ao *layout* mostrado na figura 12.

Figura 12 – Dimensões aproximadas da PCI e seus componentes.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.9 Placa Embarcada

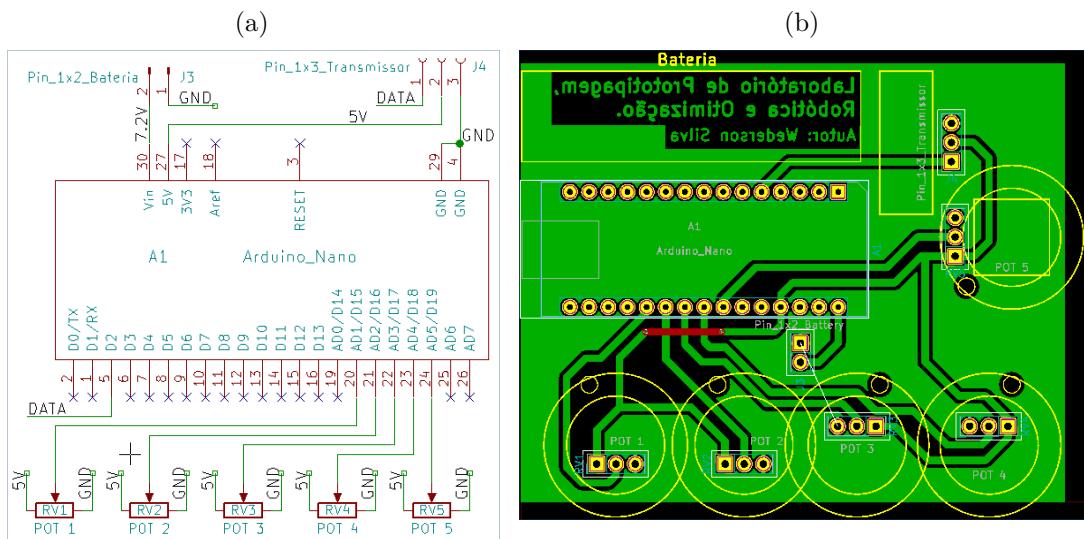
3.9.1 Esquemático

Os primeiros experimentos de ligação e testes entre os componentes foram realizados ainda em protoboard. Inicialmente, um simples programa lia a variação de um resistor e mostrava na tela do computador. Este e outros programas foram usados para verificar como deveriam ser as conexões entre os pinos, potenciômetros, bateria, módulo transmissor e o microcontrolador Arduíno.

O passo seguinte foi utilizar o software gratuito Kicad. Esse programa permite a inclusão de componentes e ligações no desenho do esquemático do circuito. Posteriormente, o Kicad possibilita a criação de uma placa de circuito impresso baseada no esquemático desenhado anteriormente. Através desse software foram criados os desenhos do esquemático e da PCI embarcada, ambos mostrados na figura 13.

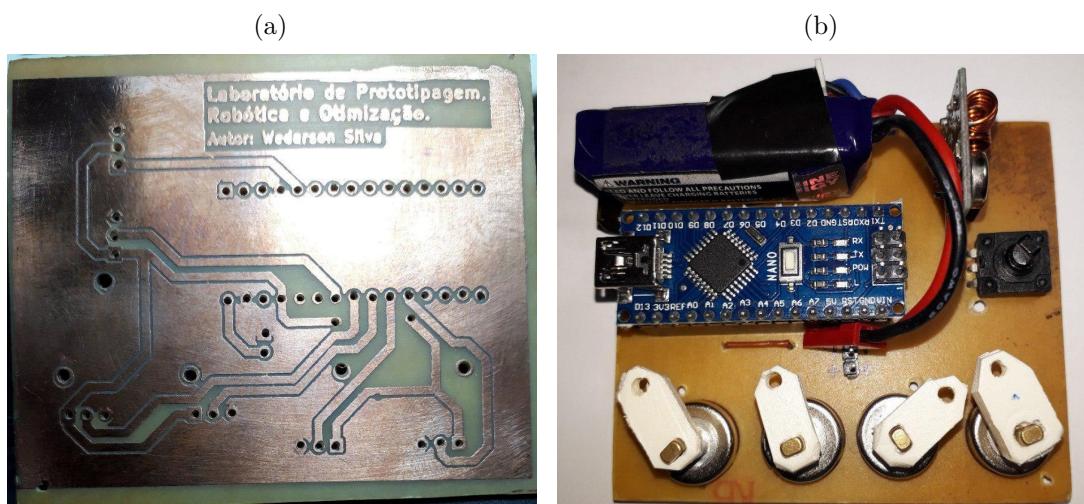
Com o desenho da placa finalizada no Kicad, foram efetuados os procedimentos para a confecção da PCI em uma placa de fenolite cobreada e sua posterior soldagem de componentes. Chegando assim, ao resultado final mostrado na figura 14.

Figura 13 – Desenhos projetados no Kicad do (a) esquemático e (b) PCI.



Fonte – Produzido pelo autor.

Figura 14 – (a) Placa de fenolite cobreada e (b) resultado final.



Fonte – Produzido pelo autor.

3.10 Montagem

Utilizando uma luva de algodão, em seu dorso foi costurado uma das metades de um pedaço de velcro (gancho) de dimensões semelhantes à PCI contruída anteriormente. Ao longo dos dedos da luva foram costurados pequenos segmentos de plástico que serviriam como guias para os fios. Na parte inferior da PCI foi costurada a outra metade do velcro (argola) que poderia ser fixada, sempre que fosse preciso, à outra parte do velcro costurada na luva.

Fios de náilon foram fixados nos segmentos de plástico (guias) localizados nas pontas dos dedos da luva. Os fios passavam por dentro das guias até serem amarrados em pequenos pedaços de PCV expandido que estavam conectados dos cursores dos potenciômetros. Por fim, pequenos pedaços de elástico, levemente esticados, também foram amarrados nos pedaços de PCV expandido.

Figura 15 – Luva montada.



Fonte – Produzido pelo autor.

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 2 vezes nas páginas 16 e 17.

DIGITAL, I. *Módulo RF Transmissor + Receptor 433mhz - Instituto Digital*. 2018. 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 18.

LICENSE, C. C. A.-S. . *Arduino - Introduction*. 2018. Acessado em: 12/08/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Citado na página 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 16.

MCCAULEY, M. *VirtualWire, Documentation for the VirtualWire communications library for Arduino*. [S.l.], 2013. V. 1.27. Disponível em: <<http://www.airspayce.com/mikem/arduino/VirtualWire.pdf>>. Citado na página 22.

MOORE, K.; DALLEY, A.; AGUR, A. *Clinically Oriented Anatomy*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2013. (Clinically Oriented Anatomy). ISBN 9781451119459. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=-Le5bc5F0sYC>>. Citado na página 20.

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

PAUL. *VirtualWire Library, for very cheap wireless communication*. 2018. Acessado em: 27/11/2018. Disponível em: <https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_VirtualWire.html>. Citado na página 22.

SM. *Arduino - String Addition Operator*. 2018. Acessado em: 04/12/2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/StringAdditionOperator>>. Citado na página 22.