

Desenvolvimento de uma luva para captura de gestos com comunicação sem fio

Leonardo Bet

Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande Do Sul - IFRS
Av. São Vicente, 785, Farroupilha, RS, Brasil
E-mail: leonardbet@hotmail.com

Gustavo Künzel

Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande Do Sul - IFRS
Av. São Vicente, 785, Farroupilha, RS, Brasil
E-mail: gustavo.kunzel@farroupilha.ifrs.edu.br

Resumo— A mão humana, essencial para a comunicação e a percepção tátil, desempenha um papel vital em tarefas que exigem precisão e força. No entanto, a interação entre humanos e dispositivos digitais nem sempre é intuitiva, especialmente em aplicações que demandam interfaces mais práticas e eficientes, como no controle remoto de máquinas em ambientes industriais perigosos. Este trabalho de conclusão de curso busca resolver esse problema ao desenvolver uma luva eletrônica portátil, de baixo custo e rápida prototipagem, equipada com sensores capazes de capturar gestos e traduzi-los em comandos digitais. O sistema proposto consiste em uma luva equipada com um acelerômetro e giroscópio no dorso da mão para capturar movimentos em tempo real. Os dados coletados são transmitidos via um módulo sem fio para um módulo receptor, que processa as informações e controla dispositivos externos. Como prova de conceito, o sistema foi testado no controle de um motor DC, acionado conforme os gestos realizados pelo usuário. Os resultados dos testes demonstraram que o sistema é capaz de interpretar os gestos, fornecendo uma resposta eficiente e de baixo atraso no controle do motor, comprovando a viabilidade da solução para aplicações práticas.

Palavras-chave— luvas eletrônicas, captura de gestos.

I. INTRODUÇÃO

A mão desempenha papel vital na comunicação não verbal e na sensação tátil, executando movimentos delicados e precisos, além de tarefas que exigem força e destreza. Ao utilizar uma luva capaz de capturar gestos da mão, transformamos a mão em uma importante ferramenta para essa interação. Essa união permite que os movimentos naturais da mão sejam traduzidos em comandos digitais, facilitando a comunicação e o controle de diferentes dispositivos. Essa integração homem-máquina não só amplia as capacidades da mão, mas também redefine as fronteiras da interação entre humanos e tecnologia, abrindo caminho para novas formas de expressão e funcionalidade [1].

A mão humana possui grande versatilidade de movimentos, e permite ao ser humano interagir com o ambiente e de comunicar-se. A mão robótica pode ser utilizada para diversas finalidades, como próteses, mecanismos de movimentos entre outros. Portanto, uma luva robótica deve exercer algumas funções como captação e controle de movimentos [2].

No contexto atual, a interação com dispositivos robóticos geralmente utiliza teclados ou joysticks como interfaces principais. No entanto, esses dispositivos demandam treinamento prévio dos operadores, o que resulta em custos adicionais e maior tempo para a operação eficiente. Em ambientes industriais perigosos, essa necessidade de treinamento pode comprometer a

segurança e a agilidade das operações. Assim, surge a necessidade de interfaces mais intuitivas, que reduzam o tempo de adaptação dos operadores e ampliem as possibilidades de controle remoto [3].

Uma solução promissora para esse problema é o uso de luvas sensorizadas. Essas luvas têm aplicações diversas, como na tradução de linguagem de sinais, em cirurgias robóticas e na reabilitação motora, além de seu potencial para substituir interfaces tradicionais em aplicações industriais. Sua principal vantagem é permitir a captura de gestos com maior naturalidade e precisão, reduzindo a curva de aprendizado dos operadores e garantindo maior eficiência na execução de tarefas.[3].

Segundo [4], existem diversas tecnologias aplicáveis no desenvolvimento de um sistema de captura de movimentos. Dentre estas, se destaca a captura de movimentos com acelerômetros e giroscópios. Sistemas estes que interpretam os movimentos do corpo humano e os convertem em comandos para computadores, máquinas ou robôs para controlar equipamentos, garantir a segurança do operador, auxiliar nos movimentos corporais ou proporcionar alternativas de interação com alguma tecnologia. A maioria dos componentes utilizados em luvas para captura de movimentos da mão são encapsulados em chips de poucos milímetros, visando atender aos requisitos básicos de precisão na captura de gestos, não interferindo na naturalidade dos movimentos da mão.

Em termos práticos, o microcontrolador recebe os sinais provenientes de sensores, como acelerômetros e giroscópios, que capturam os movimentos da luva. Em seguida, esses sinais são tratados e interpretados para identificar os gestos realizados pelo usuário. Após a interpretação, o microcontrolador envia comandos correspondentes aos movimentos detectados para os atuadores. Por fim, os atuadores realizam o movimento especificado pelo microcontrolador, permitindo o controle de dispositivos conforme o gesto reconhecido[5].

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma luva equipada com sensores capazes de capturar gestos e transmitir esses sinais para um módulo de processamento. Esse módulo será responsável por reconhecer os gestos e controlar as ações de um motor DC. Os objetivos específicos incluem: a) Realizar uma revisão da literatura e de trabalhos relacionados, b) Identificar e selecionar os principais componentes necessários para o sistema, c) Descrever e avaliar os princípios dos sensores disponíveis no mercado, selecionando o mais adequado para o projeto, d) Desenvolver um protótipo do sistema, e) Realizar a programação dos dispositivos para

interpretação dos sinais de gestos, f) Realizar testes para garantir o funcionamento desejado de todos os componentes, g) Validar o funcionamento do sistema através do controle de um motor DC por meio de gestos.

A estrutura deste projeto está organizada da seguinte forma: na Seção II, é realizada a fundamentação teórica, incluindo conceitos e a descrição dos componentes que serão utilizados no desenvolvimento da luva, além de trabalhos relacionados. Na Seção III, detalha-se o funcionamento do sistema proposto, abordando as etapas envolvidas na construção e explicando as escolhas de software e hardware. Na Seção IV, são apresentados a implementação e os resultados, incluindo a explicação dos componentes escolhidos, os esquemáticos da luva e do módulo de recepção, o fluxograma com a lógica básica que roda na luva e no receptor, além da explicação dos testes de funcionamento e fotos dos dispositivos montados. Finalmente, na Seção V, apresentam-se as conclusões, com um resumo das atividades realizadas, os resultados obtidos, as dificuldades encontradas e as possibilidades de trabalhos futuros e melhorias.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um modo de construir uma luva sensorizada consiste em um sistema composto de dispositivos como microcontrolador, acelerômetro, giroscópio e transceptor. Sendo assim, na fundamentação teórica, são abordadas as tecnologias necessárias para a construção de uma luva sensorizada, bem como trabalhos relacionados para analisar as tecnologias já utilizadas em outros projetos.

A. Microcontrolador

O microcontrolador é um circuito integrado compacto que possui um microprocessador, memória e módulos de entrada/saída, entre diversas outras funcionalidades e recursos possíveis. São amplamente utilizados em controle automatizado, fazendo parte de eletrodomésticos, dispositivos médicos, robótica, automação residencial e industrial. A presença de um microcontrolador torna o controle elétrico mais econômico [6].

A integração do microcontrolador resulta em sistemas eletrônicos mais compactos e eficientes. Com grande parte das funcionalidades implementadas por software, o design do sistema se torna ágil e flexível para modificações. Além disso, a identificação de falhas de projeto é simplificada devido à natureza compacta do sistema [6].

B. Acelerômetro e Giroscópio

Um acelerômetro é um transdutor que quantifica a aceleração e identifica vibrações, sendo utilizado tanto em aparelhos como estruturas. Seu funcionamento baseia-se no efeito piezoelétrico, onde cristais geram tensão elétrica ao serem submetidos a uma pressão mecânica. Dessa maneira, o acelerômetro transforma a aceleração em sinais elétricos. Além disso, o acelerômetro pode fornecer medições de ângulo quando o sistema está imóvel. No entanto, quando ocorre uma rotação, a resposta do acelerômetro é lenta, o que pode comprometer a precisão das medições angulares.

Para superar essa limitação, utiliza-se o giroscópio. Este dispositivo mede ou mantém a orientação com base na conservação do momento angular. O giroscópio possui uma roda giratória com um disco interno que permanece estável até ser perturbado. Isso permite ao giroscópio medir ângulos de rotação com alta precisão, complementando as medições fornecidas pelo

acelerômetro [7].

C. Interface I2C

A interface *I2C (Inter-Integrated Circuit)* é um protocolo de comunicação serial de dois fios. Esse protocolo é popular devido a sua simplicidade e eficiência. Ele é projetado para conectar dispositivos de baixa velocidade, como microcontroladores e sensores [8].

No I2C, a comunicação é feita entre um mestre, que controla o barramento, e um ou mais escravos, que respondem ao mestre. Todos os dispositivos são conectados ao mesmo barramento de dois fios. Cada dispositivo escravo possui um endereço único, permitindo que o mestre se comunique com cada um individualmente. A comunicação é realizada enviando cada byte de dados sequencialmente em pacotes de 8 bits. Para garantir o correto funcionamento do barramento são utilizados resistores de pull-up que mantêm os fios em nível lógico alto quando não estão sendo usados, assegurando a estabilidade do barramento. O reconhecimento do sinal é feito pelo dispositivo escravo, que configura a linha de dados para um nível baixo após receber cada byte de dados, indicando que os dados foram recebidos corretamente e que o dispositivo está pronto para receber mais dados ou encerrar a comunicação [8].

A interface I2C é amplamente utilizada em diversos dispositivos eletrônicos, como sensores, atuadores, e módulos de comunicação. No contexto de uma luva sensorizada para captura de gestos, o I2C pode conectar sensores como o acelerômetro e o giroscópio ao microcontrolador [8].

D. Módulos de rádio

Nas últimas duas décadas, a evolução tecnológica trouxe diversas inovações no campo das tecnologias de rádio, possibilitando a criação de dispositivos com capacidades avançadas de comunicação. A seguir serão citadas algumas tecnologias que emergiram ou foram significativamente aprimoradas.

A rede de acesso pessoal, chamada de *Personal Area Network (PAN)*, é uma rede doméstica formada pela comunicação sem fio de curta distância entre equipamentos em um espaço limitado, como um ambiente doméstico ou de trabalho pessoal. As conexões sem fio mais utilizadas nessa área tecnológica são o Wi-fi e Bluetooth [11].

O Bluetooth é uma tecnologia econômica para estabelecer conexões sem fio entre dispositivos, utilizando ondas de radiofrequência na faixa de 2,4 GHz. Tem como finalidade conectar dispositivos pessoais em curtas distâncias, com um alcance médio de 10 metros, possuindo velocidade de transmissão de 3 Mbps [11].

O Wi-Fi é um conjunto de especificações para redes locais sem fio, baseado no padrão IEEE 802.11, sendo uma abreviação do termo inglês *Wireless Fidelity*. Tem como finalidade fornecer acesso à internet e transferência de dados em redes locais. Seu alcance médio é de 10 a 100 metros e oferece uma velocidade de transmissão de 6,7Gbps [11].

O Zigbee é um protocolo de comunicação e transferência de dados sem fio. Ele possui baixa potência de operação, transmissão de dados e baixo custo de implementação. Este se diferencia das comunicações citadas acima por desenvolver menor consumo de energia, e onde todos os pontos podem funcionar como retransmissores de sinal [12].

A faixa de frequência *Industrial Scientific and Medical (ISM)* de 2,4 GHz é uma banda de livre operação utilizada por diversos equipamentos incluindo rádios que utilizam as tecnologias Bluetooth, Wi-Fi e Zigbee, além de outros aparelhos como telefones, mouses e teclados sem fio e fornos micro-ondas [9].

E. Trabalhos relacionados

Nesta seção foram analisados alguns trabalhos referentes ao desenvolvimento de luvas, onde foram observados os componentes utilizados e as funcionalidades.

Para [10], a captação de movimentos por via de uma luva sensorizada aconteceu por meio de sensores acoplados na mesma, na qual captam os movimentos de uma mão e replicam os gestos em um protótipo. Para alcançar tais resultados de forma satisfatória foi necessário avaliar a velocidade de processamento e a repetição dos gestos. O trabalho teve como finalidade desenvolver um circuito operacional para controlar a posição de um servo-motor modelo HX5010, utilizando um microcontrolador PIC18F452. Primeiramente, foram utilizados sensores de flexão e canais de cobre nos dedos, conforme demonstrado na Figura 1, conectados ao circuito através de um controle via cabo serial, com conectores DB15 soldados em suas extremidades. Para obter o sinal do sensor, foi empregada uma configuração em Ponte de Wheatstone, juntamente com um amplificador operacional LM324. Este amplificador permite que o sinal chegue uma variação de aproximadamente 0,036 V à 4,8 V ao canal analógico do microcontrolador, que por meio de programação, aciona os servos-motores para efetuarem as correções de posição necessárias. O uso do sensor de flexão em conjunto com o microcontrolador apresentou os resultados esperados em termos de compatibilidade, funcionamento e controle de variação.

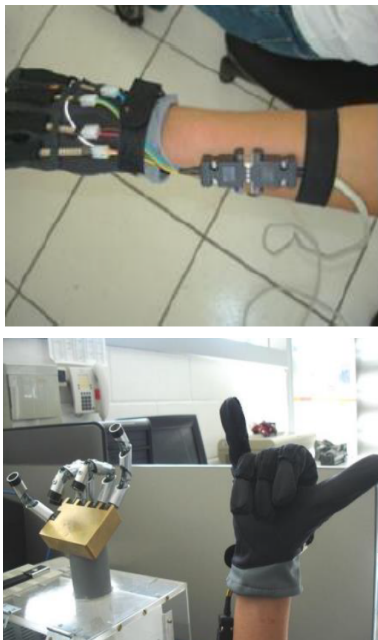


Figura 1. Conexão serial e robô repetindo o movimento da mão [10]

O trabalho de [5] realizou a implementação de uma mão robótica de baixo custo. A luva de sensores foi elaborada com a finalidade de fazer a leitura da posição dos dedos do usuário e replicam os gestos em um protótipo. Para a sua montagem, o autor utilizou 5 sensores flexíveis, uma luva e um Arduino, que faz a leitura de tensão proveniente dos sensores. Quando o dedo é

flexionado, a resistência do sensor muda, o que conseqüentemente altera a tensão lida pelo Arduino, identificando assim o movimento que a luva exerceu para cada um dos dedos. Em seguida, o microcontrolador envia comandos para os servomotores sg90g, de forma a reproduzir o movimento efetuado pelo usuário. Os sinais provenientes da luva de sensores alimentam o microcontrolador, que mapeia os sinais de tensão para um intervalo entre 0 e 180 graus por meio da função `map()` nativa do Arduino. Uma representação da luva é mostrada na Figura 2. Neste trabalho foi citada como possível melhoria a utilização de comunicação sem fio entre a luva de sensores e a mão biônica via rádio frequência ou Bluetooth.

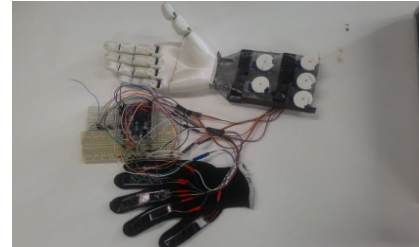


Figura 2. Mão Biônica conectada a luva de sensores. [5]

O autor [8] projetou uma luva sensorizada para a captação de gestos na qual foram utilizados 6 sensores do tipo MPU6050, que contêm acelerômetros em 3 eixos e giroscópios em 3 eixos. Os sensores utilizados apresentam conversores internos analógicos que são capazes de fazer conversões de valores rapidamente relacionados a aceleração e inclinação do sensor. O protocolo de comunicação utilizado foi o I2C, e para o controle e comunicação com os sensores foi utilizado o microcontrolador PAMPIUM, descrito em SystemVerilog. A luva é mostrada na Figura 3. Este trabalho teve resultado satisfatório, e como sugestão de melhoria a implementação de comunicação sem fio com o computador, para substituir a comunicação RS232, atualmente utilizada.



Figura 3. Protótipo de luva sensorizada para captação e transmissão de movimentos [8]

III. PROPOSTA

Como alternativa aos sistemas, o presente trabalho tem por objetivo projetar uma luva portátil com transmissão de dados sem fio, ideal para aplicações que exigem mobilidade e praticidade. O foco do projeto é em soluções utilizando módulos comerciais disponíveis no mercado para rápida prototipagem.

Nesta seção será detalhado o funcionamento do sistema proposto neste trabalho. Serão abordadas as etapas envolvidas na construção e esclarecidas as escolhas de software e hardware. Para ilustrar, um diagrama de blocos irá demonstrar como os

componentes se conectam e trabalham juntos para garantir o funcionamento completo.

A. Funcionamento do sistema

O sistema será composto por dois módulos: o transmissor e o receptor de dados. A luva será o módulo transmissor, equipado com um Arduino Pro Mini que, após ser ligada, conectará automaticamente ao módulo receptor via rádio, transmitindo periodicamente as leituras de um acelerômetro e um giroscópio. Esses sensores captam e interpretam os movimentos da mão em tempo real, permitindo ao usuário realizar uma variedade de gestos, que serão interpretados pelo módulo receptor. A luva será equipada com baterias recarregáveis, garantindo fácil acesso e boa autonomia.

O módulo receptor, composto por um microcontrolador, recebe os dados da luva por meio de um transceptor de rádio e os converte em comandos pré-determinados. Esse módulo aguarda a conexão com a luva, coleta os dados transmitidos e, com base nos comandos predefinidos, controla os movimentos de um motor DC, correspondentes às ações executadas no módulo transmissor. A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos do sistema.

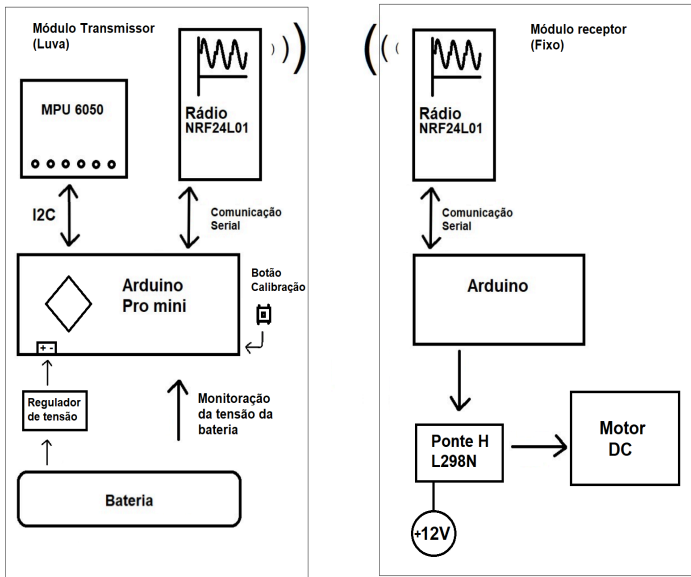


Figura 4. Diagrama de blocos do sistema.

1. Funcionamento do módulo transmissor (luva)

A programação do módulo transmissor (luva) possui uma rotina de inicialização, onde os módulos de acelerômetro e giroscópio são configurados e ativados. Em seguida, o microcontrolador estabelece a conexão com o módulo de recepção.

Após a conexão ser estabelecida, o programa entra em um laço principal, realizando a leitura dos dados fornecidos pelo acelerômetro e giroscópio. Esses dados são organizados em pacotes e enviados periodicamente ao módulo receptor.

A programação inclui uma funcionalidade de calibração, ativada por um botão, que ajusta os sensores de acelerômetro e giroscópio para corrigir desvios iniciais e garantir maior precisão. Quando o botão é pressionado, o sistema interrompe o envio de dados e realiza múltiplas leituras dos sensores enquanto a luva está parada, calculando uma média para cada eixo. Esses valores médios são armazenados como offsets, compensando os desvios fixos dos sensores. Durante a calibração, um LED permanece aceso, indicando que o processo está em andamento. Ao final, o

LED se apaga, e a luva retoma a captura e envio de dados, garantindo leituras mais precisas e movimentos mais confiáveis.

O sistema monitora a tensão da bateria, enviando o nível de carga junto com o pacote de dados para o módulo receptor. Dessa forma, o receptor pode alertar o usuário sobre condições de bateria baixa, garantindo uma operação confiável.

2. Funcionamento do módulo receptor

Na programação do módulo receptor de dados, o microcontrolador permanece em estado de espera até que a conexão com o módulo da luva seja estabelecida. Uma vez que a conexão esteja ativa, o receptor começa a receber os pacotes de dados coletados pela luva.

Os pacotes conterão os valores da aceleração em cada eixo e os valores da variação angular medidos em graus por segundo (deg/s).

No módulo receptor foi montada uma ponte H conectada a um motor DC. A ponte H permite controlar a direção de rotação do motor, possibilitando gire para a direita ou para a esquerda conforme o giro do pulso do usuário. Para fornecer feedback visual foram incluídos três LEDs indicando se o motor deve estar girando para a direita, esquerda ou parado.

Essa implementação demonstra uma aplicação prática e intuitiva do sistema de reconhecimento de gestos, facilitando a interação do usuário com dispositivos mecânicos por meio de movimentos naturais e simples da mão.

O módulo receptor possui também um LED que acende para avisar o usuário quando o módulo transmissor está com a bateria fraca.

B. Montagem da luva

Conforme ilustrado na Figura 5, a luva é equipada com o módulo transmissor posicionado na parte superior da mão (dorso) para garantir a mobilidade e a praticidade do dispositivo. A bateria fica acoplada ao punho da luva através de uma tira de velcro. Esta configuração permite que a bateria fique firmemente presa ao punho, pois o uso de velcro facilita a fixação, sem comprometer o conforto ou a funcionalidade da luva.

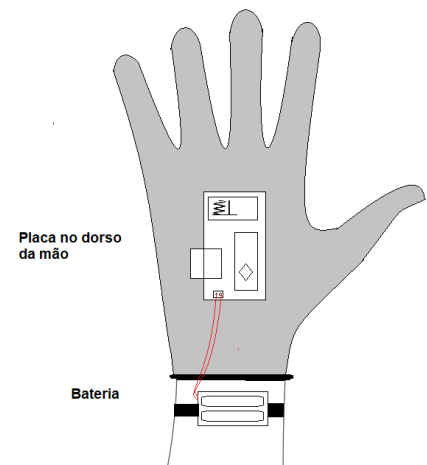


Figura 5. Demonstração de como ficará a luva na mão.

C. Componentes selecionados

Serão apresentados a seguir os componentes e módulos selecionados para o desenvolvimento do protótipo, com suas características.

1. Arduino Pro Mini

O Arduino Pro Mini é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega328P (na versão de 5V) ou ATmega168 (na versão de 3,3 V). O ATmega168 é o microcontrolador instalado na luva, ele possui 14 pinos digitais de entrada/saída, sendo que 6 pinos podem ser usados como saídas *PWM*, 6 entradas analógicas de 10 bits, um ressonador embutido, um botão de reset e furos para montagem de cabeçalhos de pinos. O cabeçalho de seis pinos pode ser conectado a qualquer cabo de breakout FTDI ou placa SparkFun para fornecer alimentação e comunicação USB para a placa. Esse microcontrolador foi projetado para ser instalado de forma semi-permanente em um objeto. Ele permite a utilização de vários tipos de conectores ou a soldagem direta de cabos, tornando-se flexível para várias aplicações [6].

O Arduino Pro Mini pode ser alimentado com uma tensão de 3,3 V ou 5 V (dependendo do modelo) no pino VCC. A placa possui um regulador de tensão que permite aceitar tensões de até 12V [6].

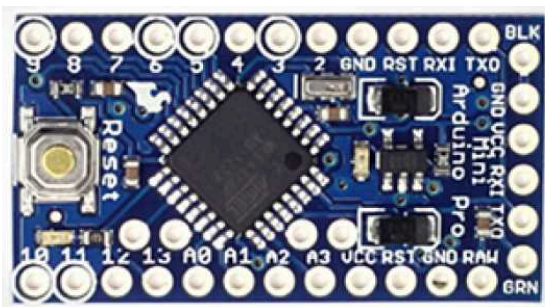


Figura 6. Arduino Pro Mini [14]

2. Acelerômetro e Giroscópio MPU 6050

O MPU 6050 é um sensor integrado que combina o giroscópio de 3 eixos e um acelerômetro de 3 eixos em um único dispositivo. Essa combinação permite a medição precisa de movimentos e orientação em três dimensões. Para obter essas medições, o MPU 6050 utiliza conversores Analógico/Digital (ADC) de 16 bits para digitalizar as saídas do giroscópio e do acelerômetro, garantindo uma boa resolução dos sinais coletados [8].

O giroscópio do MPU 6050 é capaz de medir a velocidade angular em diferentes faixas de precisão programáveis, que variam de ± 250 , ± 500 , ± 1000 e ± 2000 graus por segundo. Já o acelerômetro mede a aceleração linear e também possui faixas programáveis de ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g e ± 16 g. Essa flexibilidade permite que o sensor seja ajustado para diversas aplicações e níveis de sensibilidade, conforme necessário [8].

A comunicação do MPU 6050 com outros dispositivos é feita utilizando o protocolo I2C. Esse protocolo permite uma comunicação eficiente com uma frequência máxima de 400 kHz [8].

O MPU 6050 é amplamente utilizado em diversas aplicações devido à sua capacidade de medir com precisão os movimentos e a orientação, sendo uma peça fundamental em dispositivos como drones, sistemas de navegação, acessórios inteligentes, e equipamentos de realidade virtual e aumentada [8].

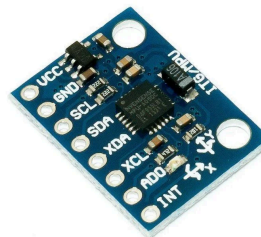


Figura 7. Sensor MPU-6050[15]

3. Rádio NRF24L01

Um transceptor é um dispositivo que combina as funções de transmissão e recepção de dados, utilizando componentes comuns para ambas as funções. O módulo nRF24L01+, produzido pela Nordic Semiconductor, é um exemplo compacto e eficiente de transceptor, medindo cerca de três centímetros integrando a antena e conectores necessários [9].

Este módulo opera na faixa de frequência de 2.4 GHz. Pode utilizar até 128 canais de 1 MHz e tem alcance de até 100 metros em espaço aberto, com taxa de transferência de 250 kbps. A comunicação com microcontroladores, como o Arduino, é facilitada pela biblioteca RF24, que fornece uma interface simplificada para o hardware do módulo [9].

Em projetos, o nRF24L01+ é utilizado para transferir dados, sendo ideal para redes de sensores e sistemas de automação residencial devido à sua versatilidade e facilidade de implementação. A biblioteca RF24, distribuída livremente, torna a integração com plataformas Arduino prática e acessível [9].

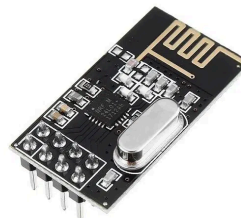


Figura 7. Rádio NRF24L01[9]

4. Ponte HL298N

A utilização da ponte H é essencial em aplicações com motores DC, pois permite controlar o sentido de giro do motor. A comutação das chaves na ponte H possibilita diferentes estados de rotação do motor. No módulo de ponte H L298N, essa comutação é realizada eletronicamente por um chip integrado, o que é mais eficiente do que a comutação mecânica [16].

Uma vantagem significativa de utilizar um circuito com ponte H é a maior dissipação de potência em comparação com o acionamento direto nas portas do microcontrolador, que normalmente fornecem apenas alguns miliampères (mA) de corrente. Em contraste, a ponte H L298N pode fornecer até 2 A por canal [16].

O chip L298N, que controla a ponte H, possui as seguintes especificações: capacidade de controle de dois motores DC ou um motor de passo, corrente de operação máxima de 2 A por canal, totalizando 4 A [16].



Figura 8. Ponte H L298N[16].

5. Regulador de tensão AMS1117

O componente AMS1117 é um regulador de tensão de três terminais, com corrente de até 800 mA. Projetado para funcionar com uma diferença mínima de tensão de entrada-saída de 1V, proporcionando eficiência para aplicações em que a queda de tensão é crítica. A versão AMS1117-3.3, por exemplo, converte tensões de entrada entre 4.75V e 12V para uma saída estável de 3.3V, ideal para manter a tensão da placa da luva. O dispositivo inclui proteção térmica e contra curto-circuito, garantindo segurança ao hardware.[17].

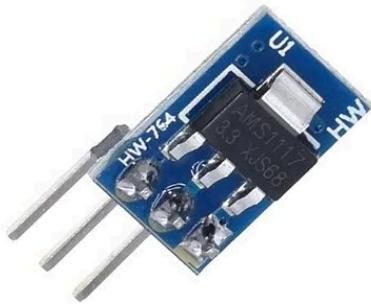


Figura 9. Regulador de tensão AMS1117.

IV. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Nesta seção são descritos os componentes e o desenvolvimento do sistema da luva e do módulo de recepção, juntamente com os resultados obtidos nos testes de funcionamento. Os esquemáticos da luva e do módulo receptor são detalhados, com destaque para as conexões e elementos necessários para a integração dos dispositivos. Um fluxograma ilustrativo também é incluído para facilitar a compreensão da lógica operacional, abordando os processos realizados tanto na luva quanto no receptor. Por fim, são apresentados os testes de funcionamento, acompanhados de fotos dos dispositivos montados, documentando a disposição física e os resultados obtidos nos experimentos.

A. Protótipos

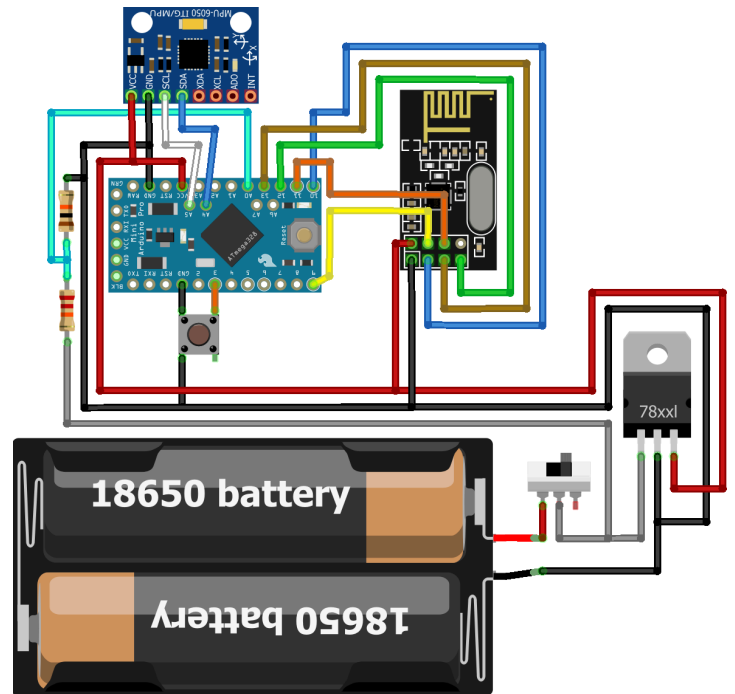
1. Luva (Modulo Transmissor / Cliente)

Para a montagem da placa da luva, que atua como módulo transmissor, foi utilizada uma placa universal perfurada. A escolha desse tipo de placa se deu pela flexibilidade que oferece na organização dos componentes, permitindo um layout otimizado e adaptável conforme as necessidades do projeto. O protótipo construído é mostrado na Figura 10.



Figura 10. Protótipo luva construída.

Os componentes foram posicionados para otimizar o layout da placa, garantindo que as conexões fossem curtas e eficientes, reduzindo a interferência e facilitando a organização. Para conectar os módulos principais foram utilizadas barras de pinos, uma escolha que evita a soldagem direta dos módulos na placa. Essa abordagem permite uma substituição mais prática e rápida de componentes individuais em caso de falhas ou necessidade de ajustes, aumentando a modularidade e a facilidade de manutenção do protótipo. Conforme representado na Figura 11, ilustra a conexão dos componentes utilizados no projeto e ajuda a esclarecer o funcionamento do sistema.



fritzing

Figura 11. Diagrama do Circuito da Luva

O programa do microcontrolador do cliente opera de maneira cíclica, conforme demonstrado na Figura 12. O ciclo começa com a configuração inicial dos sensores e do módulo de comunicação. Nesta etapa, o programa realiza a inicialização do MPU6050, responsável pelas leituras de movimento, e do NRF24, que gerencia a comunicação sem fio com o servidor. Além disso, o botão de calibração é configurado como entrada, permitindo detectar quando é pressionado, momento em que a calibração do MPU6050 é ativada.

Durante o processo de calibração, a placa deve estar posicionada em uma superfície plana, parada e estável, garantindo que as leituras reflitam apenas os erros sistemáticos, como desalinhamentos internos ou pequenas imperfeições de fabricação, programa coleta 1000 amostras consecutivas dos valores brutos dos eixos do acelerômetro (ax, ay, az) e do giroscópio (gx, gy, gz) com um intervalo de 3 ms entre cada leitura, resultando em um tempo total aproximado de 3 segundos. As leituras são acumuladas e, ao final, as médias são calculadas para determinar os offsets que corrigem os desvios sistemáticos dos sensores.

Após a configuração inicial e, se necessário, a calibração, o programa entra no loop principal. Em cada ciclo, ele lê os dados brutos do acelerômetro e do giroscópio, aplica os offsets calculados para corrigir os valores das medições e prepara os dados ajustados para envio ao servidor. Esses valores são convertidos em um vetor de bytes e transmitidos pelo módulo NRF24. O ciclo completo — incluindo a leitura dos sensores, aplicação dos offsets, envio dos dados corrigidos e espera pela resposta do servidor — é repetido continuamente, garantindo o envio em tempo real das informações sobre os movimentos detectados pelo MPU6050.

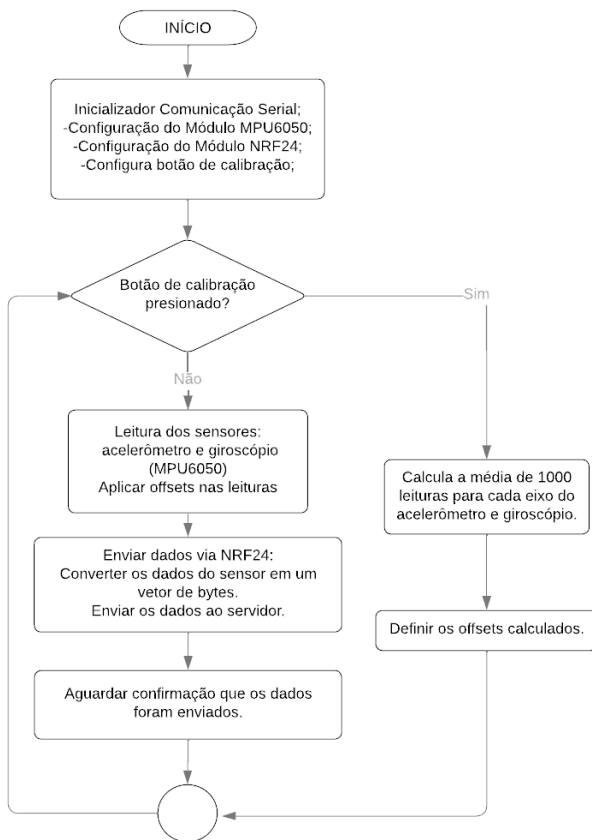


Figura 12. Fluxograma programação módulo transmissor

2. Módulo receptor

A Figura 13 demonstra o módulo receptor montado e na Figura 14 apresenta a conexão dos componentes utilizados no sistema, auxiliando na compreensão do funcionamento geral do módulo receptor.

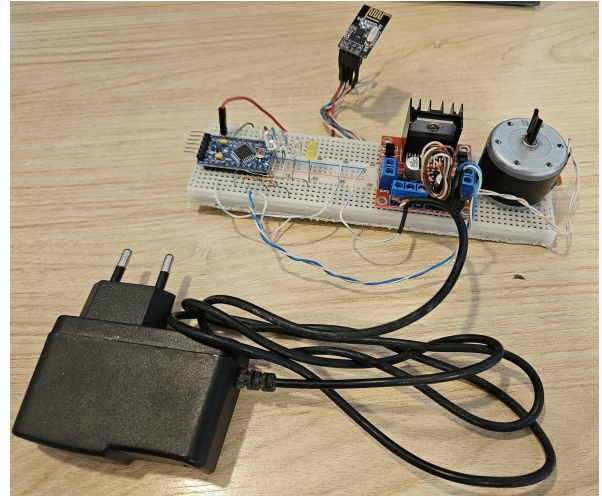


Figura 13. Protótipo receptor construído

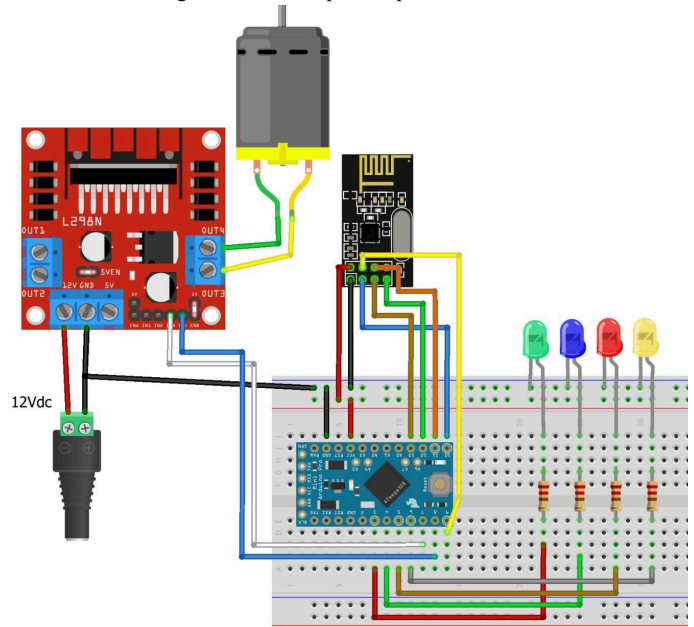


Figura 14. Diagrama do Circuito do Servidor

Para verificar o funcionamento da comunicação entre a luva e o receptor foram incluídos três LEDs no módulo receptor. Esses LEDs são acionados conforme os dados recebidos da luva, funcionando como indicadores visuais. Dessa forma, é possível confirmar a transmissão correta de sinais entre a luva e o receptor, facilitando a avaliação da comunicação.

O funcionamento do Servidor é apresentado na Figura 15, e começa com a configuração dos pinos dos LEDs como saídas e a inicialização da comunicação serial e do módulo de comunicação NRF24.

No loop principal, o Servidor verifica continuamente se há uma mensagem recebida do Cliente pelo módulo NRF24. Quando detecta a presença de dados, ele armazena a mensagem em um buffer e, em seguida, extrai as leituras dos sensores enviadas pelo

Cliente. Esses dados incluem o número da leitura e as medições do acelerômetro e giroscópio para os eixos ax, ay, az, gx, gy e gz.

Além disso, o sistema verifica a tensão da bateria da luva recebida e, caso seja inferior a 5V, acende o LED de bateria fraca como indicação. Caso contrário, o LED permanece apagado.

Após processar as informações recebidas, acionar os LEDs e ajustar o sentido de giro do motor, o Servidor envia uma mensagem de confirmação de recebimento de dados para o Cliente, utilizando o módulo NRF24. Esse ciclo — recebimento de dados, processamento, ativação de LEDs, controle do motor e envio de resposta — continua indefinidamente no loop principal, garantindo que o Servidor monitore e responda continuamente às leituras transmitidas pelo Cliente em tempo real.

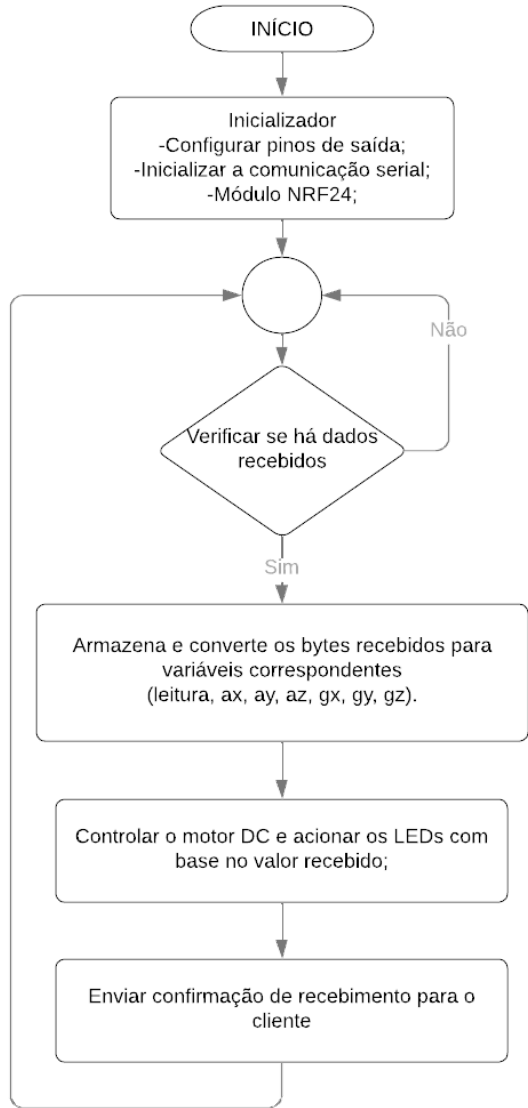


Figura 15. Fluxograma programação módulo receptor

B. Testes práticos

Como forma de teste, o sistema foi configurado para monitorar exclusivamente o eixo X do acelerômetro (ax) e utilizá-lo como parâmetro para controlar o sentido de giro do motor DC e acionar os LEDs correspondentes. O sistema considera a posição da luva na horizontal como referência, ou seja, 0° corresponde ao estado

neutro (Figura 16, posição central), com ax igual a zero. A partir dessa referência, ao inclinar a mão em um ângulo de 55°, o acelerômetro registra uma leitura de 10000, indicando uma inclinação positiva no eixo X. Valores negativos de ax representam inclinações no sentido oposto.

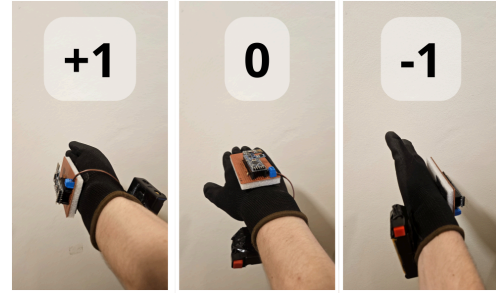


Figura 16. Posição de referência para os testes

Com base nessas leituras, o comportamento do motor foi ajustado da seguinte forma: quando o valor do ângulo é positivo ($ax > 10000$), o motor gira para a direita, utilizando um canal da ponte H, e o LED 1 é acionado para indicar essa condição. Para valores entre -9999 e 9999, o motor permanece parado, representando o estado neutro, e o LED 2 é ativado. Quando o valor do ângulo se torna negativo ($ax < -10000$), o motor gira para a esquerda, acionando o outro canal da ponte H, e o LED 3 é ativado para sinalizar essa condição. Assim, o sistema utiliza o sinal do valor de ax para definir o sentido de giro do motor: valores positivos correspondem à rotação no sentido horário (direita), valores negativos à rotação no sentido anti-horário (esquerda), e valores próximos de zero indicam o motor parado.

Para melhor ilustrar a resposta do sistema em relação aos ângulos da mão, foi apresentada na Figura 17 uma curva de comportamento do motor em relação aos valores de ax. A curva superior representa a variação das leituras da mão ao longo do tempo, enquanto a curva inferior mostra o estado real do motor em função desses movimentos, com 1 indicando rotação para a direita, -1 rotação para a esquerda, e 0 representando o estado neutro.

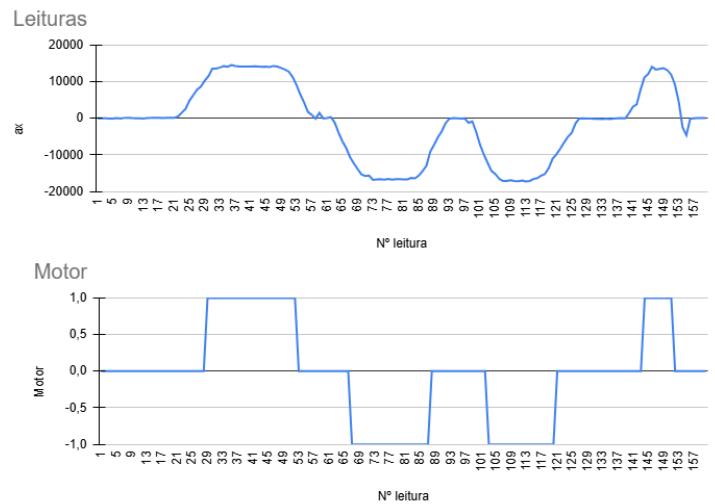


Figura 1. Gráfico de leituras X estado do motor

O teste realizado demonstra que o sistema responde de maneira adequada às variações de inclinação da mão, convertendo os valores de ângulo em comandos de controle do motor. Dessa forma, foi possível validar a integração entre os sensores, a ponte H e o motor DC, assegurando que os limites de operação definidos são atendidos e o comportamento esperado é alcançado.

V. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma solução capaz de traduzir movimentos gestuais em comandos para controle de dispositivos, utilizando uma luva equipada com sensores. Durante o projeto, foi possível implementar com sucesso o módulo transmissor, que incluiu sensores como acelerômetro e giroscópio, e desenvolver funcionalidades importantes, como a calibração dos sensores, garantindo maior precisão e confiabilidade no sistema. Embora não tenham sido realizados testes comparativos entre leituras com e sem calibração, observou-se que os valores ajustados apresentaram maior estabilidade e coerência ao longo das medições, refletindo um comportamento mais preciso do sistema.

Os resultados obtidos demonstram o potencial da solução proposta para aplicações práticas, destacando-se pela possibilidade de integração com diferentes sistemas. O projeto atingiu os objetivos principais, abrindo caminho para futuras melhorias, como a miniaturização do módulo receptor e a substituição da protoboard por uma placa de circuito impresso (PCB), que tornaria o sistema mais robusto e adequado para uso em cenários industriais.

Assim, este trabalho contribui para o avanço das interfaces gestuais no controle de dispositivos, reforçando a importância de soluções intuitivas e tecnológicas no contexto da automação.

REFERÊNCIAS

- [1] VALVERDE, R.; PEREIRA, F. G.; VASSALLO, R. Reconhecimento de gestos dinâmicos usando modelo oculto de Markov para interação homem-máquina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, X., 2011, São João del-Rei. Anais [...]. São João del-Rei: Universidade Federal de São João del-Rei, 2011. p. 438-443.
- [2] COUTO, A. J.; PEREIRA, M. P.; OGUSCO, W. J.; FILHO, A. F.; BENTO, R. T. Implementação de uma luva sensorizada para o controle de robôs teleoperados. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, X., 2018, Salvador. Anais [...]. Salvador: [s.n.], 2018.
- [3] SOUZA, G. E. Sistema de controle intuitivo baseado na captura de movimentos do braço humano para operação de manipuladores robóticos. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/12719/Gustavo%20Eismann%20Souza.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- [4] GONÇALVES, P. H. C.; CACIQUE, F. V.; LORENZETO, F. T. C.; SILVA, J. M.; NUNES, V. M.; SANTOS, S. A. Desenvolvimento de um sensor para captura de movimentos de uma mão humana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, XXV., 2016, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: [s.n.], 2016.
- [5] RIBEIRO, D. B. Mão biônica controlada por luva de sensores. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1683/8/MONOGRAFIA_M%C3%A3oBi%C3%B4nicaControlada. Acesso em: 17 jun. 2024.
- [6] RŪSIMAMTO, P. W.; ENDRYANSYAH, Endryansyah; ANIFAH, L.; HARIMURTI, R.; ANISTYASARI, Y. Implementation of arduino pro mini and ESP32 cam for temperature monitoring on automatic thermogun IoT-based. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 1366-1375, 1 set. 2021. DOI: 10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1366-1375. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1366-1375>.
- [7] VARASCHIM, F. H.; SOARES, J. W. M.; POSSOLI, F. A. A.; PIVOVAR, L. E.; REGANON, R. B.; LENDZ, U. N.; ALVES, I. T. Utilização de um filtro complementar junto ao sensor MPU 6050. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, Paranaguá, PR, v. 7, n. 7, p. 459-12, 2022. DOI: 10.21575/25254782rmetg2022v017n72341.
- [8] LONGARETTI, D. Implementação de uma luva microcontrolada para a captura de gestos. 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

- [9] MAKERHERO. NRF24L01 Wireless Transceiver 2,4GHz. 2024. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/nrf24l01-wireless-transceiver-24ghz/>. Acesso em: 2024.
- [10] PITTA, A. J. C.; PEREIRA, M. P.; OGUSCO, W. S.; FILHO, A. F.; BENTO, R. T. Implementação de uma luva sensorizada para o controle de robôs teleoperados. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, X., 2018, Salvador. Anais [...]. Salvador: [s.n.], 2018.
- [11] CADEADO, A. N. S. Desenvolvimento de Procedimentos Analíticos e Aplicações IoT Utilizando Sensores Ópticos para Detecção de Adulteração em Alimentos e Contaminação da água. 2024. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
- [12] ZIGBEE. Zigbee. Wikipédia, 2023. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Zigbee>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- [13] MARTINS, V. F. Automação residencial usando protocolo MQTT, Node-RED e Mosquitto Broker com ESP32 e ESP8266. 2019. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- [14] ARDUINO. Arduino Pro Mini. 2024. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-pro-mini/>. Acesso em: 2024.
- [15] ELETROGATE. Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos 6 DOF MPU-6050 - GY-521. 2024. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050-gy-521>. Acesso em: 2024.
- [16] ELETROGATE. Guia definitivo de uso da Ponte H L298N. Blog Eletrogate, 2023. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-definitivo-de-uso-da-ponte-h-l298n/>. Acesso em: 2024.
- [17] ADVANCED MONOLITHIC SYSTEMS. AMS1117: 800mA Low Dropout Voltage Regulator. Dublin, CA: Advanced Monolithic Systems, Inc., [s.d.]. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com>. Acesso em: 14 nov. 2024.