

Politécnico de Leiria

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Licenciatura em Eng.ª Eletrotécnica e de Computadores

**IMU RC**

Estudante Paulo Oliveira Gomes de Sousa

Estudante Tiago Alexandre Lopes Gonçalves

Leiria, Julho de 2024



Politécnico de Leiria

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Licenciatura em Eng.ª Eletrotécnica e de Computadores

**IMU RC**

Relatório final da Unidade Curricular de Projeto da Licenciatura em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Eletrónica e computadores

Estudante Paulo Oliveira Gomes de Sousa

Número: 2222031

Estudante Tiago Alexandre Lopes Gonçalves

Número: 2222025

Trabalho realizado sob orientação do Professor Doutor XXXX XXXXX XXXXX.

Leiria, Julho de 2024

# Agradecimentos

Chegados ao final deste projeto e, simultaneamente, ao término de uma etapa marcante das nossas vidas académicas, não poderíamos deixar de expressar a nossa profunda gratidão a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a sua concretização.

Agradecemos, em primeiro lugar, às nossas famílias e amigos, pelo apoio constante, pela compreensão nos momentos mais exigentes e pela motivação que nunca nos deixaram faltar ao longo de todo o percurso académico. O vosso incentivo foi essencial não só para a realização deste projeto, mas também para a conclusão do nosso curso.

Dirigimos igualmente o nosso reconhecimento a todos os docentes que, ao longo dos anos, lecionaram as várias unidades curriculares da nossa formação. Cada disciplina, cada aula e cada desafio foram peças fundamentais na construção do nosso conhecimento e na nossa preparação para o mundo profissional.

Um agradecimento muito especial é devido aos nossos orientadores de projeto: o Professor Nuno Miranda, o Professor Paulo Coelho e o Professor Nuno Lopes. As vossas orientações, sugestões e partilhas de conhecimento foram cruciais para o desenvolvimento e implementação deste trabalho. A vossa disponibilidade, exigência e visão ajudaram-nos a superar dificuldades e a elevar a qualidade do nosso projeto.

Estendemos também o nosso agradecimento à Professora Carla Lopes, na qualidade de arguente, que nos acompanhou com atenção e espírito crítico, contribuindo com observações pertinentes e construtivas que enriqueceram o trabalho final.

A todos, o nosso sincero obrigado.

# Resumo

Deverá conter de forma sucinta, clara e objetiva as questões mais importantes

tratadas no corpo do trabalho.

Deverá ter, no máximo, 250 palavras.

# Abstract

Escrever o resumo em inglês.

Índice

[Agradecimentos i](#_Toc169172856)

[Resumo iii](#_Toc169172857)

[Abstract v](#_Toc169172858)

[Lista de figuras ix](#_Toc169172859)

[Lista de tabelas xi](#_Toc169172860)

[Lista de abreviaturas xiii](#_Toc169172861)

[1. Introdução 1](#_Toc169172862)

[2. Título do capítulo 2](#_Toc169172863)

[2.1. Título da secção 3](#_Toc169172864)

[2.2. Título da secção 4](#_Toc169172865)

[2.2.1. Título da subsecção 4](#_Toc169172866)

[2.2.2. Título da subsecção 4](#_Toc169172867)

[2.3. Título da secção 4](#_Toc169172868)

[3. Título do capítulo 5](#_Toc169172869)

[4. Conclusões 6](#_Toc169172870)

[Bibliografia 7](#_Toc169172871)

[Anexos 9](#_Toc169172872)

# Lista de figuras

[Figura 2.1 - Texto ilustrativo da figura 1. 2](file:///C:\Users\Marta.Henriques\Documents\03_Arq_2019\Modelo_dissertação_relatorio_projeto.docx#_Toc1407571)

[Figura 3.1 - Texto ilustrativo da figura 2. 5](file:///C:\Users\Marta.Henriques\Documents\03_Arq_2019\Modelo_dissertação_relatorio_projeto.docx#_Toc1407572)

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Texto ilustrativo da tabela 1 3

Tabela 3.1 - Texto ilustrativo da tabela 2 5

# Lista de abreviaturas

|  |  |
| --- | --- |
| ESTG | Escola Superior de Tecnologia e Gestão |

Não esquecer da lista de siglas

# Introdução

## Enquadramento Geral

O presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controlo de um robô móvel utilizando movimentos da mão, detetados por uma unidade inercial (IMU) integrada numa pulseira. Este sistema visa explorar formas de interação homem-máquina mais naturais e acessíveis, através da utilização de sensores e microcontroladores modernos, com aplicação tanto em contextos educativos como de acessibilidade ou prototipagem rápida.

A iniciativa teve início com a realização de um levantamento do estado da arte na área da interação homem-máquina (IHM), com especial foco em soluções baseadas em sensores de movimento, como unidades inerciais, para controlo de dispositivos robóticos. Foram analisadas abordagens existentes, tanto comerciais como académicas, de forma a compreender as tecnologias mais utilizadas, os métodos de comunicação e as potencialidades de integração em sistemas autónomos.

Com base nesta investigação, procedeu-se ao dimensionamento de um robô móvel próprio, pensado de raiz para responder aos requisitos de controlo remoto por gestos. O projeto engloba o desenvolvimento mecânico e eletrónico do robô, incluindo o desenho e fabrico de placas de circuito impresso (PCBs), a seleção de atuadores, sensores e fontes de alimentação, bem como a integração de um microcontrolador ESP32 como unidade central de processamento e comunicação.

Paralelamente, foi também desenvolvida uma pulseira com um segundo ESP32 e um sensor inercial, responsável por captar os movimentos da mão do utilizador e enviá-los, via comunicação sem fios Bluetooth Low Energy (BLE), para o robô. O sistema completo permite interpretar gestos ou inclinações do pulso como comandos de movimento para o robô, promovendo uma interação sem fios, intuitiva e em tempo real.

Do ponto de vista do desenvolvimento de software, o projeto incluiu a programação dos dois microcontroladores, com a criação de código para leitura de sensores, interpretação de gestos, comunicação BLE, controlo dos motores do robô entre outros. Foram também consideradas boas práticas de modularidade, eficiência e escalabilidade do sistema.

De forma a facilitar a compreensão do projeto, apresenta-se a Figura XX, que ilustra a base de funcionamento do sistema, bem como os principais componentes e funcionalidades que integram o sistema.

FIGURA XX

Este projeto tem como destino final a criação de uma plataforma funcional e versátil, que poderá ser utilizada como base para aplicações didáticas, demonstrações tecnológicas, apoio a pessoas com mobilidade reduzida ou ainda como ponto de partida para soluções mais complexas em robótica pessoal e assistiva. Ao conjugar hardware próprio, comunicação sem fios e controlo baseado em gestos, pretende-se demonstrar o potencial de sistemas IHM de baixo custo e elevada aplicabilidade.

## Objetivos do projeto

O presente projeto consiste na aplicação integrada de conhecimentos nas áreas de Eletrónica, Instrumentação e Sistemas IoT, tendo como objetivo final o desenvolvimento de um sistema de controlo remoto de um robô através de uma unidade inercial. Pretende-se que este sistema seja de baixo custo, funcional e acessível a utilizadores de todas as idades, incluindo crianças e adultos, independentemente de apresentarem ou não limitações psicomotoras ou psicológicas, promovendo assim a inclusão e a adaptabilidade tecnológica. Ao longo do ano os objetivos definidos foram atingidos segundo o Cronograma em baixo apresentado na tabela 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tarefas** | **outubro** | **novembro** | **dezembro** | **janeiro** | **fevereiro** |  | **março** | **abril** | **maio** | **junho** | **julho**  **julho** |
| 1. Pesquisa Bibliográfica | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1. Seleção de tecnologias e componentes | x | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1. Projeto, implementação e testes iniciais | x | x | x | x | x |  |  |  |  |  |  |
| 1. Desenvolvimento do protótipo final |  |  |  | x | x |  | x | x |  |  |  |
| 1. Realização de testes em ambiente real |  |  |  |  |  |  | x | x | x | x |  |
| 1. Realização do relatório | x | x | x | x | x |  | x | x | x | x |  |

## Estrutura do relatório

Este relatório está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 2 são abordados os conceitos teóricos fundamentais relacionados com a interação Homem-Máquina na atualidade, bem como os diferentes tipos de comunicação existentes. O Capítulo 3 descreve detalhadamente a implementação realizada ao longo do projeto, incluindo as decisões tomadas relativamente à seleção dos componentes, ao desenvolvimento da programação dos microcontroladores e á realização das placas de circuito impresso. No Capítulo 4 são apresentados os testes realizados ao sistema, tanto durante a fase de desenvolvimento como no protótipo final. Por fim, o Capítulo 5 reúne as conclusões obtidas, assim como possíveis direções para trabalhos futuros.

# Enquadramento Teórico

A interação homem-máquina tem evoluído como campo de investigação desde o final do século XX, impulsionada pelos avanços na tecnologia informática e eletrónica. A partir das interfaces tradicionais, como os teclados e os ratos, o desenvolvimento da interação homem-máquina evoluiu no sentido de explorar formas de controlo mais naturais, intuitivas e acessíveis, impulsionado pelo avanço de dispositivos móveis, sensores e sistemas embebidos.

Nos últimos anos, a utilização de unidades de medição inercial o reconhecimento de gestos e as interfaces baseadas no movimento corporal aumentaram significativamente, não só como alternativa aos métodos tradicionais, mas também como solução viável para pessoas com deficiências motoras e outras deficiências físicas. Esta abordagem visa não só facilitar o acesso à tecnologia a todos os utilizadores, mas também encontrar formas de controlar robôs e sistemas interativos de um modo mais eficiente e humano.

Vários estudos anteriores mostraram que é possível utilizar sensores IMU para interpretar os movimentos da mão, do braço ou da cabeça como instruções de controlo para cadeiras de rodas, próteses robóticas, braços articulados e pequenos robôs móveis. Estas soluções são sem fios, pouco dispendiosas, relativamente fáceis de implementar e aceitáveis para o utilizador. Em particular, a utilização de gestos naturais, como a inclinação e a rotação das mãos, é promissora no contexto da acessibilidade e pode minimizar a necessidade de contacto direto com dispositivos físicos e interfaces complexas.

Além disso, a adaptação destas tecnologias permite que os utilizadores sem deficiência explorem novas formas de interação em áreas como a realidade virtual, os jogos, o controlo remoto de drones e os sistemas educativos robóticos. A ligação entre acessibilidade e inovação é, por conseguinte, um elemento-chave na conceção de interfaces inclusivas e eficazes.

Este projeto insere-se nesta linha de investigação e propõe o desenvolvimento de um sistema de controlo para um mini robô utilizando uma unidade inercial colocada na mão do utilizador. O objetivo do projeto é desenvolver uma forma de controlo intuitiva, reativa e fácil de usar que possa ser utilizada por qualquer pessoa, independentemente das suas capacidades motoras. O projeto pretende avaliar a eficácia e a usabilidade de um sistema deste tipo, de modo a contribuir para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina em cenários realistas e diversificados.

## Interações entre Homem-máquina

A interação entre humanos e máquinas tem evoluído drasticamente nas últimas décadas, transitando de interfaces simples para sistemas complexos e adaptativos. Para indivíduos sem dificuldades psicológicas ou psicomotoras, a interação com dispositivos digitais pode parecer intuitiva através de teclados, ratos, ecrãs táteis e comandos de voz. Contudo, para pessoas com limitações específicas, estes métodos convencionais podem representar barreiras significativas. Em resposta a este desafio, surgiram tecnologias assistivas como o Eye Tracking, utilizado por pessoas com mobilidade reduzida para controlar computadores apenas com o movimento dos olhos. Um exemplo notável é o sistema Tobii Dynavox, que permite aos utilizadores com paralisia escrever textos, navegar na internet e comunicar apenas através do olhar.

As interfaces cérebro-computador (BCI) representam um avanço ainda mais significativo para pessoas com limitações severas. O sistema BrainGate, desenvolvido pela Universidade de Brown, implanta sensores no córtex motor do cérebro para captar sinais neuronais que são traduzidos em comandos para dispositivos externos. Pacientes com esclerose lateral amiotrófica (ELA) já conseguem comunicar e controlar próteses robóticas através deste sistema, demonstrando como a tecnologia pode restaurar funcionalidades perdidas.

A conectividade continua a ser um elemento fundamental na interação homem-máquina. Os sistemas com fios, embora muitas vezes considerados limitadores, ainda oferecem vantagens significativas em termos de fiabilidade e latência reduzida. Em contextos clínicos, por exemplo, sensores conectados por cabo frequentemente monitorizam parâmetros vitais com precisão superior. O sistema Lokomat, desenvolvido pela Hocoma, utiliza conexões por cabo para garantir a precisão na reabilitação robótica de membros inferiores em pacientes com lesões neurológicas, permitindo feedback imediato e ajustes precisos durante as sessões terapêuticas.

Em contrapartida, as tecnologias sem fios têm revolucionado a acessibilidade ao eliminar barreiras físicas. A Neuralink, empresa de Elon Musk, está a desenvolver implantes cerebrais wireless que comunicam diretamente com dispositivos externos, prometendo novas possibilidades para pessoas com deficiências neurológicas. Já o sistema CTRL-Labs (adquirido pela Meta) utiliza braceletes que detetam sinais elétricos dos músculos para interpretar intenções de movimento, possibilitando interações com realidade virtual sem necessidade de comandos físicos.

As dificuldades psicológicas apresentam desafios distintos na interação homem-máquina. Para indivíduos com perturbações do espectro do autismo, interfaces visuais complexas podem gerar sobrecarga sensorial. Em resposta, aplicações como o Avaz AAC foram desenvolvidas com design minimalista e previsível, facilitando a comunicação através de símbolos personalizáveis e saída de voz para utilizadores com dificuldades na fala ou processamento linguístico.

Para utilizadores com deficiências sensoriais, tecnologias hápticas e multissensoriais abrem novos canais de comunicação. A equipa de investigação da Universidade de Sussex desenvolveu o sistema UltraHaptics, que utiliza ultrassom para criar sensações táteis no ar, permitindo feedback sensorial sem contacto físico. Esta tecnologia possibilita que pessoas cegas "sintam" elementos virtuais no espaço tridimensional, expandindo drasticamente as possibilidades de interface.

Os dispositivos *wearables* têm sido particularmente transformadores neste domínio. O Neosensory Buzz, uma pulseira que vibra, converte sons em padrões vibratórios na pele, criando essencialmente um "terceiro ouvido" para pessoas com deficiência auditiva. Após um período de adaptação, os utilizadores conseguem interpretar diferentes sons, desde conversas até alarmes, através destas vibrações, demonstrando a notável plasticidade cerebral humana.

Os avanços em próteses controladas por pensamento representam um dos exemplos mais impressionantes de interação homem-máquina para pessoas com deficiências físicas. A mão biónica desenvolvida pelo Imperial College de Londres utiliza sensores mioeléctricos para detetar sinais musculares residuais, permitindo movimentos precisos dos dedos e até feedback sensorial. Estes sistemas estão ligados ao nervo remanescente do membro amputado, criando uma conexão bidirecional que permite não apenas controlar a prótese, mas também "sentir" objetos manuseados.

Em Portugal, o Instituto Superior Técnico em colaboração com o Centro de Medicina de Reabilitação de Alcoitão desenvolveu o projeto Exoskeleton Suit, um exoesqueleto robotizado que auxilia pessoas com lesões medulares a recuperarem mobilidade. Este sistema utiliza uma combinação de sensores sem fios para monitorizar o equilíbrio e intenções de movimento, complementados por conexões com fios para os atuadores que fornecem suporte mecânico preciso durante a reabilitação.

A Internet das Coisas (IoT) está a transformar ambientes domésticos em sistemas interativos que podem adaptar-se às necessidades específicas dos utilizadores. Para pessoas com mobilidade reduzida, sistemas como o desenvolvido pela HomePal (startup portuguesa) permitem controlar eletrodomésticos, iluminação e temperatura através de comandos de voz ou interfaces simplificadas em smartphones. Estes sistemas utilizam principalmente conexões sem fios como Wi-Fi, Bluetooth e ZigBee para criar redes de dispositivos interconectados.

Para utilizadores com défices cognitivos, a empresa portuguesa Compta desenvolveu o sistema Memória Viva, que utiliza *beacons* Bluetooth estrategicamente posicionados para fornecer lembretes contextuais e orientações baseadas na localização da pessoa dentro de casa. Este sistema ajuda pessoas com demência ou défices de memória a manterem independência e segurança nos seus lares.

Os robôs sociais emergem como uma interface homem-máquina particularmente valiosa para indivíduos com dificuldades de interação social. O robô PARO, semelhante a uma foca, foi desenvolvido especificamente para terapia com idosos e pessoas com demência. Equipado com sensores táteis, microfones e sistema de reconhecimento facial, este dispositivo responde ao toque e à voz, demonstrando comportamentos que estimulam interação social e reduzem ansiedade em pacientes com Alzheimer.

Na área do autismo, o robô humanóide QTrobot, desenvolvido pela LuxAI, utiliza expressões faciais simplificadas e previsíveis para ajudar crianças autistas a interpretarem emoções e desenvolverem competências sociais. Este robô comunica por Wi-Fi com uma plataforma onde terapeutas podem personalizar interações baseadas nas necessidades específicas de cada criança.

As tecnologias imersivas têm demonstrado resultados promissores na reabilitação de diversas condições. Sistemas de realidade virtual como o VRRS (Virtual Reality Rehabilitation System), desenvolvido pela empresa italiana Khymeia, utilizam luvas com sensores por cabo para garantir precisão milimétrica no seguimento dos movimentos durante terapias de reabilitação motora após AVC. A precisão desta monitorização permite ajustar exercícios em tempo real, adaptando a dificuldade conforme o progresso do paciente.

A evolução das interfaces homem-máquina continua a eliminar barreiras para pessoas com e sem dificuldades psicológicas ou psicomotoras. O futuro aponta para sistemas cada vez mais adaptativos e personalizados, que se ajustam automaticamente às capacidades e limitações de cada utilizador. Tecnologias emergentes como interfaces neurais não invasivas, tecidos inteligentes e computação afetiva prometem tornar a tecnologia verdadeiramente universal e acessível. O verdadeiro potencial destas tecnologias reside na sua capacidade de se tornarem transparentes ao utilizador, funcionando como extensões naturais das capacidades humanas em vez de ferramentas externas. Na medida em que continuamos a desenvolver estas interfaces, caminhamos para um mundo onde a tecnologia não apenas compensa limitações, mas amplia as capacidades humanas em todas as suas diversas manifestações. Para além de todas as formas de interação aqui mencionadas, importa ainda destacar a interação mais tradicional entre seres humanos e máquinas, que continua a desempenhar um papel essencial no apoio ao desempenho de diversas profissões e hobbies, como na medicina assistida por robôs, na pilotagem de drones para filmagens aéreas, ou na utilização de exoesqueletos para trabalhos pesados ou reabilitação física.

Referencias usadas no texto para dar exemplos: Adicionar na biblio

<https://www.tobiidynavox.com/>

<https://observador.pt/2021/05/13/cientistas-nos-estados-unidos-inventam-sistema-que-permite-escrever-com-o-pensamento/>

<https://www.hocoma.com/de/mediencenter/pressebilder/lokomat/>

<https://neuralink.com/>

<https://tecnoblog.net/noticias/facebook-compra-startup-ctrl-labs-pulseira-ler-sua-mente/>

<https://avazapp.com/products/avaz-aac-app/>

<https://hypescience.com/raio-de-tracao/>

<https://neosensory.com/>

<https://www.maisconhecer.com/tecnologia/15169/Nova-protese-de-mao-macia-oferece-interface-bionica-natural->

<https://www.inovarsaude.min-saude.pt/impacto-da-roboterapia-paro-em-pessoas-idosas-com-demencia-em-portugal/>

<https://www.makerhero.com/blog/conheca-o-qtrobot/?srsltid=AfmBOordb7lC9DOsYUcCytfeqRoYROFRbXJFv_i8ci2NZI0bHtg6i9yL>

<https://khymeia.com/en/products/vrrs-evo/>

## Tipos de comunicações com e sem fios

As comunicações entre dispositivos eletrónicos e sistemas informáticos constituem um pilar fundamental para a interação homem-máquina na era digital. Estas tecnologias de comunicação podem ser categorizadas em dois grandes grupos: comunicações com fios e comunicações sem fios. Cada tipo apresenta características específicas que determinam a sua adequação a diferentes contextos aplicacionais, desde ambientes domésticos e empresariais até cenários médicos, industriais e científicos. A escolha entre tecnologias com ou sem fios depende de diversos fatores como distância de transmissão, requisitos de largura de banda, latência, segurança, mobilidade, consumo energético e custo de implementação. Neste documento, apresentamos uma visão abrangente das principais tecnologias de comunicação disponíveis atualmente destacando algumas das suas características.

## Comunicações Com Fios

* **Ethernet** continua a ser a espinha dorsal das redes com fios em ambientes empresariais e residenciais. Os cabos Cat 5e, Cat 6 e Cat 7 oferecem velocidades que variam de 1 Gbps até 10 Gbps, com distâncias de transmissão de até 100 metros. Em contextos hospitalares, redes Ethernet dedicadas são frequentemente utilizadas para transmissão segura de dados de pacientes entre equipamentos médicos e servidores centrais, garantindo latência mínima e fiabilidade máxima para aplicações críticas.
* **Fibra Ótica** representa o estado da arte em transmissão de dados por cabo, utilizando pulsos de luz através de filamentos de vidro ou plástico. Permite velocidades de até 2,5 Gbps em distâncias superiores a 20 km, sendo utilizada pela Portugal Telecom na implementação da sua rede FTTH (Fiber to the Home). Em ambientes científicos conexões de fibra ótica de 400 Gbps suportam a transferência massiva de dados gerados pelos experimentos de física de partículas.
* **USB e Interfaces Especializadas** para interações homem-máquina de alta precisão, interfaces como USB 3.2 e Thunderbolt 4 são essenciais.
* **Power over Ethernet (PoE)** permite transmitir simultaneamente energia e dados através de um único cabo Ethernet, alimentando dispositivos como câmaras de segurança e sensores sem necessidade de fontes de alimentação adicionais.
* **Serial/UART** representa uma das formas mais básicas e antigas de comunicação digital entre dispositivos. Utilizando apenas dois fios para transmissão e receção de dados, esta tecnologia continua relevante em microcontroladores e em aplicações industriais onde a simplicidade e robustez são prioritárias.
* **I2C (Inter-Integrated Circuit)** é um protocolo de comunicação série desenvolvido pela Philips que utiliza apenas dois fios (SDA para dados e SCL para clock) para conectar múltiplos dispositivos numa topologia master-slave. Esta tecnologia é amplamente utilizada em sensores embebidos e dispositivos de interface humana como ecrãs táteis
* **SPI (Serial Peripheral Interface)** é um protocolo de comunicação série síncrona que utiliza uma arquitetura master-slave com linhas separadas para dados e clock, permitindo comunicações full-duplex. Oferece maior velocidade que I2C e é frequentemente utilizado em aplicações que requerem transferência rápida de dados entre componentes próximos.

## Comunicações Sem Fios

* **Wi-Fi** evoluiu significativamente ao longo das últimas décadas, desde o padrão original 802.11 com velocidades de apenas 2 Mbps até às versões mais recentes. O Wi-Fi 6E oferece velocidades teóricas de até 9,6 Gbps com latência substancialmente reduzida e melhor desempenho em ambientes com alta densidade de dispositivos. O Wi-Fi apresenta-se como uma solução versátil para diversos cenários de conectividade, desde redes domésticas e empresariais até aplicações industriais e de saúde. As redes mesh Wi-Fi tornaram-se populares para garantir cobertura ampla e sem interrupções em edifícios grandes ou com múltiplos andares permitindo que vários pontos de acesso trabalhem em conjunto criando uma única rede coesa e expansível.
* **Bluetooth e Bluetooth Low Energy (BLE)** oferece velocidades de até 50 Mbps com alcance melhorado de até 240 metros em campo aberto. A tecnologia BLE é particularmente relevante para dispositivos médicos *wearables*, consumindo apenas uma fração da energia do Bluetooth tradicional.
* **Redes Móveis 5G** oferecem velocidades de pico de até 20 Gbps com latência inferior a 1 milissegundo, possibilitando aplicações em tempo real anteriormente impossíveis.
* **Zigbee e Z-Wave** são tecnologias de baixo consumo energético otimizadas para a Internet das Coisas (IoT). O Zigbee com velocidades de até 250 Kbps e alcance de 10-100 metros, formando redes mesh que se auto-regeneram.
* **NFC (Near Field Communication)** com alcance limitado a poucos centímetros, permitindo transações seguras e emparelhamento simplificado de dispositivos.
* **RFID (Radio-Frequency Identification)** utiliza etiquetas passivas que não requerem alimentação própria e são ativadas pelo leitor, enquanto as versões ativas têm bateria própria e maior alcance.
* **LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)** é uma tecnologia que permite comunicações de longo alcance (até 15 km em áreas rurais) com consumo energético mínimo.
* **UWB (Ultra-Wideband)** utiliza pulsos de rádio de curta duração com largura de banda ampla, permitindo localização precisa (até 10 cm) e transferência de dados de alta velocidade.
* **Comunicação por Infravermelhos** apesar de ser uma tecnologia mais antiga, continua relevante em aplicações específicas como controlos remotos e comunicações seguras de curto alcance.
* **Comunicação por Ondas Sonoras** utiliza sinais acústicos para transmitir dados, tendo aplicações interessantes em ambientes onde outras formas de comunicação são impraticáveis.

Estas diversas tecnologias de comunicação, tanto com fios como sem fios, formam um espectro complementar de soluções que sustentam a crescente integração entre humanos e máquinas. A tendência atual aponta para a utilização combinada destas tecnologias, criando ecossistemas híbridos que maximizam os benefícios de cada abordagem, garantindo conectividade contínua, segura e adaptada às necessidades específicas de cada aplicação.

Após a análise das tecnologias de comunicação na Tabela 1, podemos observar que algumas vantagens e desvantagens destas tecnologias que se destacam como particularmente adequadas para a realização do presente projeto. Esta combinação de tecnologias permite implementar um sistema robusto que satisfaz todos os requisitos funcionais estabelecidos inicialmente para o projeto.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tecnologias** | **Vantagens** | **Desvantagens** |
| Wi-Fi | -Alta taxa de transferência de dados  -Boa amplitude de cobertura | -Alto consumo energético  -Suscetível a interferências |
| Bluetooth | -Baixo consumo energético  -Bom em curto alcance | -Alcance limitado  -Consumo energético superior ao Bluetooth Low Energy |
| Bluetooth Low Energy (BLE) | -Consumo de energia extremamente baixo  -Bom em curto alcance | -Alcance limitado |
| LoRa | -Alcance extremamente longo  -Baixo consumo energético | -Baixa taxa de transferência de dados  -Latência relativamente alta |
| Zigbee | -Baixo consumo energético  -Criação de redes mesh | - Baixa taxa de transferência de dados  -Módulos que aumentam a complexidade e custo |

## Estudos Anteriores Relevantes

Após alguma pesquisa de trabalhos académicos já realizados para serem tiradas ideias para serem implementadas no projeto, foi encontrado um trabalho realizado em conjunto pelo Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade de Engenharia e Tecnologia Sir Syed, Karachi no Paquistão e pelo Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Barret Hodgson, Karachi no Paquistão, em que estes usam um microchip ATmega 328 onde realizam a programação do projeto e para aquisição de dados usam um sensor Giroscópio e Acelerómetro e uma braçadeira com elétrodos para fazer a aquisição sensorial de movimentos do braço/mão. Na figura xx e figura xx, pode ser observado o acionamento de um Led através dos movimentos realizados pela mão.

Uma imagem com captura de ecrã, pessoa, mão, luz

Descrição gerada automaticamente

<https://www.jictra.com.pk/index.php/jictra/article/view/183/111>

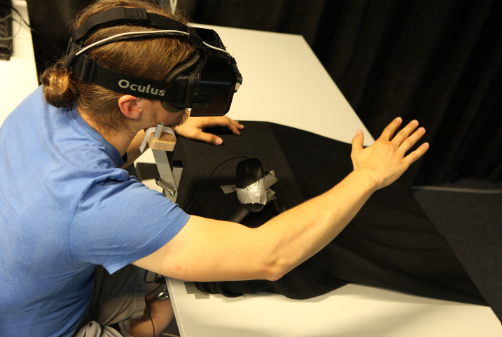
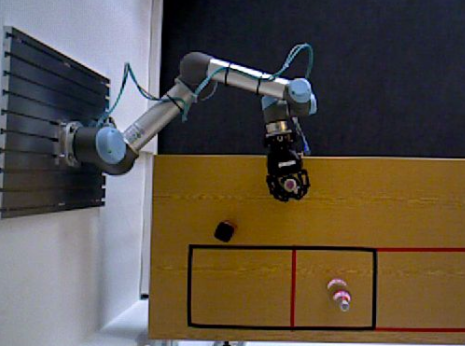
Além do mencionado, também foi investigado um projeto realizado na Universidade de Liège, na Bélgica, no Laboratório de Análise de Movimento Humano. O objetivo era permitir a teleoperação intuitiva de robôs industriais, captando os movimentos do tronco e braços do operador para controlar o robô em tempo real. Para isso, foram utilizados dois módulos de sensores IMU BNO080 da Bosch posicionados no braço e antebraço do operador. Esses módulos permitiam calcular a orientação do braço em relação a um sistema de referência inercial. Essa informação, juntamente com um modelo cinemático simples do braço humano, era utilizada para calcular a trajetória do pulso. A precisão dessa medição foi quantificada comparando a trajetória estimada com a medida utilizando um sistema de análise de movimento 3D. O projeto emprega o módulo ESP32 WROOM da Espressif, com processador dual-core de 240 MHz, 520 kB de SRAM e transcetor Wi-Fi integrado. Na figura XX, pode ser observada uma foto dos testes realizados ao projeto final, onde através dos movimentos do braço existe o controlo da mão robótica.

Uma imagem com pessoa, vestuário, interior, parede

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.

<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/214324/1/Article%20RACIR%20RobinPellois.pdf>

Por fim também foi analisado um projeto desenvolvido na Universidade de Hamburgo, na Alemanha. O objetivo era permitir a teleoperação de robôs móveis combinando entradas visuais e de movimento para uma interação mais natural e precisa entre o operador e o robô. O sistema integrava dados de sensores IMU e visão computacional (através de uma câmara Intel RealSense SR300) para interpretar os movimentos do operador e controlar um robô PR2 com uma mão Shadow de 19 DoF. Neste projeto não foi especificado o sensor IMU utilizado. O sistema de controlo era realizado através do Robot Operating System (ROS), utilizando o Unity3D para a interface do utilizador. Na figura xx pode ser oservado testes realizados no robô através dos movimentos realizados pelo operador.



<https://www.inf.uni-hamburg.de/en/inst/ab/hci/projects/immersive-robot-control.html?utm_source>

# Título do capítulo

Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento. Texto do desenvolvimento.

|  |
| --- |
| Figura 3.1 - Texto ilustrativo da figura 2. |

Seguidamente, apresenta-se um exemplo de tabela.

Tabela 3.1 - Texto ilustrativo da tabela 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

# Conclusões

A apresentação das conclusões tem como objetivo realizar uma síntese, acompanhada

de um conjunto de observações acerca do que foi escrito anteriormente.

# Bibliografia

Inserir aqui a bibliografia ou referências bibliográficas.

[1] Duncan, G. et al., Improvement of the physical characteristics of distorted minds, International Intelligentsia, vol 1234, no. 67, pp. 25-34, 1988.

[2] Fettucini, A., Various ways of convolving spaghetti, Global Cooking, vol. 33, no. 4, 1995.

[3] CloneCD Underground Website, http://www.elaboratebytes.com/eb/, [Acedido a xx/yy/zzzz]

[4] Marques, A., Oliveira, P., Demografia na Idade Média, Dicionário de História de Portugal, vol. II, pp. 281-2, Livraria Figueirinhas, 1985.

# 

# Anexos

Elemento a figurar, **quando aplicável**.

Devem seguir uma numeração própria, por exemplo, Anexo A; Anexo B.