

Thiago Fernando Cuevas Mestanza

**Desenvolvimento de um Robô Assistente
Pessoal para Aprimorar a Autonomia e
Qualidade de Vida de Idosos com Limitações
Motoras**

Uberlândia, MG

2024

Thiago Fernando Cuevas Mestanza

Desenvolvimento de um Robô Assistente Pessoal para Aprimorar a Autonomia e Qualidade de Vida de Idosos com Limitações Motoras

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Campus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Elétrica - FEELT

Orientador Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida

Uberlândia, MG

2024

Resumo

O fenômeno global de envelhecimento populacional, responsável pelo aumento expressivo da população idosa no Brasil, demanda a busca por maneiras de lidar com os desafios que afetam significativamente a qualidade de vida dos idosos, sobretudo aqueles que possuem deficiências motoras. Diante dessa realidade, ganha relevância o uso da robótica assistiva (RA), área de pesquisa que explora o uso de robôs para o suporte de usuários humanos. Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de um robô assistente pessoal cujo objetivo é proporcionar suporte, cuidado e qualidade de vida à esse segmento populacional dentro do ambiente doméstico. O robô será projetado para, a partir de comandos de voz, realizar tarefas como seguir um usuário, buscar objetos e responder perguntas, aliviando o esforço físico e prevenindo quedas ou lesões motoras em usuários idosos. Para isso, o robô disponibilizará de, além de recursos eletro-mecânicos, aplicações de inteligência artificial, *machine learning*, e computação visual, visando a performance de tarefas que incluem reconhecimento facial, detecção de objetos e interações humano-robô.

Palavras-chaves: Robótica; Inteligência Artificial; *Machine Learning*, Computação Visual; Interação Humano-Robô.

Abstract

The global phenomenon of population aging, responsible for the significant increase in the elderly population in Brazil, calls for ways to address the challenges that significantly impact the quality of life of the elderly, especially those with motor disabilities. In this context, the use of assistive robotics (AR), a research area that explores the use of robots to support human users, becomes increasingly relevant. In this sense, this work proposes the development of a personal assistant robot aimed at providing support, care, and quality of life to this population segment within the home environment. The robot will be designed to, through voice commands, perform tasks such as following a user, searching for objects, and answering questions, alleviating physical effort and preventing falls or motor injuries in elderly users. To achieve this, the robot will have, in addition to electro-mechanical resources, applications of artificial intelligence, machine learning and computer vision, aiming to perform tasks that include facial recognition, object detection, and human-robot interactions.

Keywords: Robotics; Artificial Intelligence; Machine Learning; Computer Vision; Human-Robot Interaction

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama de pinos de entrada e saída STM32F4x1Cx.	22
Figura 2 – Placa de desenvolvimento Sipeed Maixduino	22
Figura 3 – Diagrama de pinos de entrada e saída presentes no verso da placa Sipeed Maixduino.	24
Figura 4 – Kit de desenvolvimento Sipeed Maixduino.	24
Figura 5 – Placa Raspberry Pi 3	25
Figura 6 – Diagrama de pinos de entrada e saída da placa Raspberry Pi 3.	26

Lista de tabelas

Tabela 1 – Ficha técnica STM32F411CEU6	21
Tabela 2 – Ficha técnica Maixduino	23
Tabela 3 – Ficha técnica Raspberry Pi	25
Tabela 4 – Cronograma das atividades.	30

Lista de abreviaturas e siglas

IA	Inteligência Artificial
IHR	Interação Humano-Robô
ISO	International Organization for Standardization
RA	Robótica Assistiva
RNA	Redes Neurais Artificiais
SLAM	Visual Self-Localization And Mapping
TA	Tecnologia Assistiva
ML	Machine Learning
DL	Deep Learning
USB	Universal Serial Bus
TFT	Thin Film Transistor
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
PCI	Placa de Circuito Impresso

Lista de símbolos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativas	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivos Específicos	12
2	REFERENCIAIS TEÓRICOS	14
2.1	Robôs	14
2.2	Interação Humano-Robô	14
2.2.1	Interação Humano-Robô centrada no robô	15
2.2.2	Interação Humano-Robô centrada no humano	15
2.2.3	Interação Humano-Robô centrada na cognição	15
2.3	Tipos de Robôs	15
2.3.1	Robôs Móveis	16
2.3.2	Robôs Sociais	16
2.3.3	Robôs Companheiros	17
2.4	Inteligência Artificial	17
2.4.1	Machine Learning	18
2.4.2	Deep Learning	18
2.5	Visão Computacional	19
2.6	Sistemas Embarcados	20
2.6.1	STM32	20
2.6.1.1	STM32F411CEU6	20
2.6.2	Maixduino	22
2.6.3	Raspberry Pi 3	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	Estudo de Requisitos	27
3.2	Desenvolvimento de Firmwares	27
3.2.1	Firmware STM32	27
3.2.2	Firmware Raspberry Pi 3	27
3.2.3	Firmware Maixduino	28
3.3	Validação e Integração dos Firmwares	28
3.4	Desenvolvimento da PCI	28
3.5	Desenvolvimento e Impressão da Estrutura 3D	28
3.6	Testes Finais	29

4	CRONOGRAMA	30
5	RECURSOS NECESSÁRIOS	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	ANEXO A – ANEXOS	37

1 Introdução

Desde a metade do século XX, a população mundial vem experimentando um processo de envelhecimento, isto é, um aumento na proporção de pessoas idosas em relação a população total (ONU, 2013). No Brasil, este processo é evidenciado pelo aumento de mais de 4% do contingente de idosos entre os anos de 2012 a 2022, fazendo desse segmento populacional o que mais cresce segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022). Esse crescimento representa um incremento médio de mais de um milhão de pessoas idosas ao ano, e corrobora com projeções feitas pelo Ministério da Saúde que apontam que, em 2040, o contingente de idosos representará cerca de 30% da população brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022).

Nesse contexto, ganham evidência importantes características demográficas que dizem respeito a esse emergente segmento populacional. Uma delas é a forte relação entre faixas etárias e a prevalência de deficiências (SNPD, 2012). De acordo com o Censo Demográfico, realizado em 2010, a deficiência motora é a segunda que mais acomete os brasileiros, atingindo 7% da população, e 2,33% em graus severos. O mesmo estudo ainda aponta que 23,9% dos brasileiros possui algum tipo de deficiência visual, auditiva, motora ou intelectual, sendo o grupo de pessoas com 65 anos ou mais responsável por 67,73% dessa estatística (SNPD, 2012).

Diante disso, é evidente que os idosos compõem um dos grupos que mais necessita de suporte e atenção, sobretudo durante sua rotina doméstica diária. O aumento desse segmento populacional, aliado à limitada disposição de profissionais treinados para o cuidado especializado de idosos, faz imprescindível a busca por novas alternativas para lidar com essa realidade, a fim de proporcionar aos idosos a possibilidade de viver de forma independente por mais tempo e com a maior qualidade de vida possível (SAWIK et al., 2023).

Uma relevante ferramenta para atingir estes objetivos é o uso da chamada tecnologia assistiva (TA). A TA é uma área de pesquisa de caráter interdisciplinar que abrange o desenvolvimento de produtos, recursos, metodologias, estratégias e serviços que buscam promover a funcionalidade relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, qualidade de vida e inclusão social (CAT, 2007).

Dentre as várias disciplinas que compõem a TA, está a robótica e o conceito de robótica assistiva (RA). Robôs assistivos são definidos como aqueles capazes de dar suporte a usuários humanos, e podem ser destinados a uma variedade de ambientes, incluindo escolas, hospitais e domicílios (FEIL-SEIFER; MATARIC, 2005). Exemplos de robôs

assistivos são: cadeiras de rodas robóticas, robôs manipuladores, robôs educacionais, robôs de reabilitação, entre outros.

Recentemente, os avanços na área de Inteligência Artificial (IA) combinados com recursos de sensoriamento avançados, como o da computação visual, amplificaram o potencial de impacto dos robôs, tornando-os capazes de interagir de forma mais completa com o ambiente e desempenhar tarefas cada vez mais complexas. Um dos resultados dessa combinação de recursos é o desenvolvimento de robôs móveis assistivos, que também são sociais, isto é, que interagem com os humanos através de gestos, expressões e comandos de voz. Estas características se tornam relevantes quando aplicadas ao contexto de pessoas com limitações motoras, uma vez que podem significar uma redução de esforço físico e uma consequentemente prevenção a quedas ou lesões motoras.

Nesse sentido, este trabalho busca o desenvolvimento de um robô assistente pessoal voltado para o suporte no cuidado doméstico de idosos com limitações motoras. O robô será capaz de, sob comandos de voz, executar tarefas específicas, servindo como um aliado no auxílio às atividades diárias dessas pessoas.

1.1 Justificativas

Reduções na capacidade física frequentemente requerem que pessoas idosas realizem mudanças em seus ambientes de vida, seja adaptando sua residência atual ou mudando para um ambiente mais favorável (PERRY; ANDERSEN; KAPLAN, 2013). Ao decidir onde morar, pessoas idosas frequentemente veem suas casas ou comunidades como espaços fundamentais para manter um senso de conexão, segurança e familiaridade (WILES et al., 2011). Essa busca por ambientes que promovam bem-estar é essencial, de tal forma que o direito de pessoas com limitações funcionais viverem e serem incluídas em sua comunidade foi um ponto central na Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (ONU, 2006).

Em uma realidade em que os ambientes institucionais, como asilos ou centros de cuidados, são ocasionalmente vistos como desumanizadores, e podem ser interpretados como barreiras estruturais e culturais de interações sociais (BONIFAS et al., 2014), tem-se como resposta política comum ao envelhecimento populacional, o incentivo do que é conhecido como envelhecimento no lar, isto é, a possibilidade de pessoas idosas viverem e envelhecerem em sua própria casa ou comunidade de forma segura, autônoma e confortável, independentemente da idade, renda ou nível de capacidade intrínseca (WHO, 2015).

Nesse sentido, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), as tecnologias assistivas à saúde para cuidados de longo prazo, como monitoramento remoto e cuidadores robóticos, têm ganhado evidência e representam hoje um dos meios mais promissores para melhorar a capacidade funcional de pessoas idosas, e de tornar o objetivo

do envelhecimento no lar ainda mais alcançável (WHO, 2015).

A criação de ambientes e tecnologias adaptadas à idade não apenas facilita a mobilidade, permitindo que pessoas idosas participem ativamente de suas atividades básicas, mas também contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida dessas pessoas e de seus cuidadores (WHO, 2015). Além disso, vale ressaltar que as tecnologias assistivas, ao proporcionarem esses benefícios, apresentam potencial para reduzir custos individuais e sociais, fomentando, assim, o envelhecimento no lar de maneira sustentável e favorável (SCHULZ et al., 2014).

Essa perspectiva se alinha também com a legislação brasileira de inclusão, na qual o artigo 74 da Lei nº 13.146 garante à pessoa com deficiência acesso a produtos, recursos, estratégias, práticas, processos, métodos e serviços de tecnologia assistiva que maximizem sua autonomia, mobilidade pessoal e qualidade de vida (BRASIL, 2015).

Dessa forma, a proposta deste trabalho e o consequente emprego de tecnologias assistivas vai de encontro não apenas com os princípios de envelhecimento no lar propostos pela OMS, mas também promove a inclusão e a melhoria significativa na vida daqueles com limitações funcionais regida pela lei brasileira.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolver um sistema robótico assistivo capaz de servir como alternativa para o cuidado de pessoas idosas e com limitações motoras. O robô disponibilizará de recursos de hardware e software relacionados a aplicações de inteligência artificial e computação visual para navegar em um ambiente doméstico e, a partir de comandos de voz, performar três tarefas: reconhecer e entregar objetos, fornecer informações e seguir indivíduos.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um *firmware* embarcado em um microcontrolador STM32 responsável por, através de comandos recebidos via protocolo serial de uma placa Raspberry Pi, controlar todos os motores do sistema, juntamente com um sensor ultrassônico.
- Desenvolvimento de um *firmware* embarcado em um Kit Maixduino, integrado a modelos de inteligência artificial e computação visual projetados para detecção de objetos e reconhecimento facial. A implementação também conta com um sistema de envio de informações via protocolo serial para uma placa Raspberry Pi.
- Desenvolvimento de um *firmware* embarcado em uma placa Raspberry Pi 3, responsável pelo processamento central de dados do sistema, bem como conversão de

comandos de voz ao formato de texto e respostas de texto em sinais de áudio.

- Desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso (PCI) alinhada às demandas específicas de design e hardware do sistema proposto.
- Desenvolvimento de uma estrutura e acabamento do robô feita em impressão 3D, projetada para ser compatível tanto com a Placa de Circuito Impresso (PCI) quanto com o chassi do sistema robótico.

2 Referenciais Teóricos

Para uma compreensão mais abrangente deste trabalho, é crucial estabelecer uma base conceitual que englobe os aspectos técnicos considerados para o desenvolvimento desta pesquisa. A necessidade de definir alguns termos-chave e conceitos fundamenta-se na natureza interdisciplinar da robótica e em sua característica dinâmica e constante de evolução. Ao esclarecer esses elementos, busca-se proporcionar uma compreensão mais profunda dos fundamentos teóricos do projeto, contribuindo não apenas para composição de uma análise objetiva do sistema proposto, mas também para uma interpretação mais fundamentada sobre as contribuições deste trabalho na área da robótica.

2.1 Robôs

O termo "robô", derivado da palavra checa "robota", significa trabalho forçado (SHANMUGAVEL; T; R, 2018). Segundo a norma ISO - 8373:2021, um robô é um mecanismo programável, com determinado grau de autonomia, que é capaz de se locomover em um ambiente e realizar tarefas designadas (ISO, 2021). Outra forma de definir um robô é como uma máquina capaz de realizar um conjunto de tarefas em uma classe de ambientes com algum grau de autonomia e robustez, integrando vários componentes, como atuadores, sensores e computadores que juntos garantem as funções de movimentação, manipulação, percepção, comunicação e tomada de decisão (MARQUIS; PARDE; PAPINI, 2020).

A ciência que estuda e projeta robôs é conhecida como Robótica (SUJATHA, 2021). A robótica tem como objetivo projetar máquinas capazes de perceber, mover-se e interagir com seu ambiente para a realização de tarefas úteis e específicas. Trata-se de um campo de pesquisa interdisciplinar que reúne conhecimentos de disciplinas como teoria de controle, engenharia mecânica, engenharia eletrônica e ciência da computação com o propósito de criar e aprimorar sistemas robóticos capazes de executar funções de maneira eficiente e autônoma (MARQUIS; PARDE; PAPINI, 2020).

2.2 Interação Humano-Robô

Dentro da robótica existem várias subáreas com ênfases, abordagens e aplicações diferentes, uma delas é a Interação Humano-Robô (IHR) ou *Human Robot Interaction*. A IHR é uma área de pesquisa cujo foco é o desenvolvimento de habilidades comunicativas inteligentes aplicadas à robôs (D'ONOFRIO; SANCARLO, 2023). Por se tratar de uma área que investiga a comunicação e o comportamento social em sistemas de inteligência artificial, é também uma área altamente interdisciplinar, situada na interseção da robótica,

engenharia, ciência da computação, psicologia, linguística, etologia e outras disciplinas (DAUTENHAHN, 2007).

Diferentemente da engenharia e da robótica tradicional, a interação verbal ou não verbal com pessoas, é um elemento central e intrínseco à IHR (DAUTENHAHN, 2007). A pesquisa nessa área, segundo Dautenhahn (2007), pode ser categorizada em três abordagens, não mutuamente exclusivas.

2.2.1 Interação Humano-Robô centrada no robô

A abordagem centrada no robô enfatiza a visão de um robô como uma criatura, ou seja, uma entidade autônoma que persegue seus próprios objetivos com base em suas motivações, impulsos e emoções. Nesse sentido, a interação com pessoas cumpre o papel de atender às necessidades específicas dos robôs, isto é, demandas identificadas pelo projetista do robô e modeladas pela arquitetura de controle interna (DAUTENHAHN, 2007).

2.2.2 Interação Humano-Robô centrada no humano

A IHR centrada no humano se preocupa em como um robô pode cumprir uma tarefa específica dentro de um padrão aceitável e confortável para os humanos. Nessa abordagem, pesquisa-se como as pessoas reagem e interpretam a aparência ou o comportamento de um robô, desconsiderando sua arquitetura interna ou os processos cognitivos que ocorrem dentro do robô (DAUTENHAHN, 2007).

Os desafios nessa área estão em: encontrar um design equilibrado e consistente de comportamento e aparência do robô; projetar um comportamento robótico socialmente aceitável; desenvolver novos métodos e metodologias para estudos e avaliação de interações e identificar as necessidades de indivíduos e grupos de sujeitos aos quais um robô poderia se adaptar e responder (DAUTENHAHN, 2007).

2.2.3 Interação Humano-Robô centrada na cognição

A IHR centrada na cognição enfatiza o robô como um sistema inteligente, ou seja, uma máquina que toma decisões por conta própria e resolve problemas que enfrenta como parte das tarefas que precisa realizar em uma determinada aplicação. Questões de pesquisa específicas dessa área são: o desenvolvimento de arquiteturas cognitivas de robôs, aprendizado de máquina e resolução de problemas (DAUTENHAHN, 2007).

2.3 Tipos de Robôs

O fato da tecnologia robótica proporcionar a execução de atividades repetitivas e perigosas de maneira mais rápida, econômica e precisa do que os seres humanos (ERINLE;

OLADEBEYE; ADEMILOYE, 2022), fez com que, atualmente, os robôs desempenhem uma variedade de funções em diversos campos, resultando em um progressivo aumento na quantidade de tarefas atribuídas a eles (SHANMUGAVEL; T; R, 2018). Dessa forma, considerando a variedade de robôs produzidos, a melhor maneira de classificar-los é por meio da divisão com base em suas aplicações e características (SHANMUGAVEL; T; R, 2018). É pertinente destacar que as definições apresentadas a seguir, muitas vezes se sobrepõem, o que permite que um robô seja categorizado em mais de um tipo com base em suas diferentes propriedades e capacidades.

2.3.1 Robôs Móveis

Robôs móveis são sistemas robóticos capazes de moverem-se de acordo com sua função e tarefa (RENDYANSYAH, 2022). Podem ser controlados manualmente ou de maneira autônoma, sendo os autônômicos caracterizados pela capacidade de navegar por um ambiente geralmente desconhecido, ao mesmo tempo em que realizam a tarefa para a qual foram projetados (CEBOLLADA et al., 2021).

Os robôs móveis são essencialmente equipados com sensores que coletam dados do ambiente pertinentes para a execução das tarefas designadas a eles. (CEBOLLADA et al., 2021). Uma variedade de métodos tem sido propostos em relação às técnicas de processamento e tratamento das informações sensoriais coletadas, incluindo ferramentas baseadas em inteligência artificial (IA), sendo essa, uma opção cada vez mais adotada nos trabalhos de robótica móvel (CEBOLLADA et al., 2021).

Em termos de design, robôs móveis podem ser classificados de acordo com o sistema de movimento ou pelo tipo de mobilidade (MORENO et al., 2016). Concentrando-se no aspecto mecânico, robôs móveis terrestres podem ter locomoção com rodas, pernas, esteiras, ou combinações híbridas desses princípios (BRUZZONE; NODEHI; FANGHELLA, 2022).

2.3.2 Robôs Sociais

Robôs sociais são agentes artificiais capazes de realizar performances sociais que, na perspectiva de usuários humanos, possam elevá-los de instrumentos a interlocutores (KAPLAN et al., 2001). Esses robôs, socialmente interativos, desempenham papéis como parceiros, colegas ou assistentes, exigindo um grau de adaptabilidade e flexibilidade para conduzir interações com seres humanos (FONG; NOURBAKHSH; DAUTENHAHN, 2003).

A variedade de formas e funções desses robôs inclui desde aqueles cujo único propósito é engajar as pessoas em interações sociais, até os projetados para seguir normas sociais e realizar tarefas em ambientes habitados por humanos (FONG; NOURBAKHSH; DAUTENHAHN, 2003)].

O estudo no campo de robôs sociais reconhece, portanto, como característica

intrínseca: a capacidade de performar comportamentos sociais e, em particular, de demonstrar uma "presença social" crível, definida como a capacidade do robô em proporcionar ao usuário a "sensação de estar com outro" ou o sentimento de "estar na companhia de alguém" (DAMIANO; DUMOUCHEL, 2018).

2.3.3 Robôs Companheiros

Dentro da robótica assistiva, definida como ramo da robótica voltada para auxiliar os seres humanos em tarefas de cuidado (JAKHOTIYA; HAQUE, 2022), um robô companheiro é um sistema que possui habilidades sociais para interagir com os usuários, e que além disso, é capaz de realizar tarefas para assistência dos seres humanos em ambientes domésticos (DAUTENHAHN, 2007).

O conceito de um robô companheiro abrange tanto a perspectiva da IHR centrada no humano quanto a perspectiva centrada na cognição, pois o requisito de realizar tarefas de maneira confortável e aceitável para os humanos no ambiente compartilhado está alinhado com a abordagem centrada no humano, enquanto a execução flexível e adaptativa de tarefas exige que o robô se ajuste e aprenda em ambientes novos e dinamicamente mutáveis, correspondendo assim à abordagem centrada na cognição (DAUTENHAHN, 2007).

2.4 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) é um campo de pesquisa dentro da ciência da computação voltado para a compreensão da inteligência por meio de modelos computacionais eficazes e o desenvolvimento de sistemas que os implementem (MARQUIS; PARDE; PAPINI, 2020). A IA mantém vínculos interdisciplinares com a matemática, psicologia, neurociência, linguística, filosofia e outras ciências cognitivas. Atualmente, já proporcionou uma variedade de tecnologias robustas, como as técnicas de aprendizado de máquina, que agora estão integradas de maneira contínua em muitos dispositivos computadorizados, como smartphones, câmeras, navegadores da web, mecanismos de busca e aplicativos (MARQUIS; PARDE; PAPINI, 2020).

A robótica e a IA são áreas distintas mas que se sobrepõem (MARQUIS; PARDE; PAPINI, 2020). Quando se pensa em IA destaca-se a possibilidade de uma tecnologia aprender com suas próprias experiências a cada iteração, aprimorando, conseqüentemente, seu desempenho. Essa característica incorpora a noção de adaptabilidade (MOHAMMED, 2020) que quando aplicada ao campo da robótica permite que os robôs realizem tarefas complexas de forma autônoma, respondendo dinamicamente à cenários variados com base em algoritmos e processos inteligentes que se aprimoram a partir da experiência.

A adaptabilidade citada previamente nos leva ao que é conhecido como "Aprendizado de Máquina" ou *Machine Learning*, que nada mais é que um conceito da IA que permite que um sistema utilize técnicas algorítmicas para aprimorar suas previsões e análises de dados a cada iteração (MOHAMMED, 2020).

2.4.1 Machine Learning

Machine Learning (ML) é uma aplicação da IA que engloba todas as abordagens que permitem que as máquinas aprendam com dados sem serem explicitamente programadas. O objetivo do ML é treinar as máquinas com base nos dados e algoritmos fornecidos. Utilizando os dados e as informações processadas, as máquinas aprendem a tomar decisões. O aspecto de "aprendizagem" do ML indica que os algoritmos de ML tentam minimizar os erros e maximizar a probabilidade de suas previsões serem verdadeiras conforme são treinadas, isto é, conforme "aprendem" (JAKHAR; KAUR, 2020).

2.4.2 Deep Learning

Deep Learning (DL) é uma subcategoria do (ML) que se baseia em algoritmos aplicados a modelos computacionais inspirados na arquitetura das redes neurais biológicas do cérebro, conhecidas como Redes Neurais Artificiais (RNA). Quando o cérebro humano recebe novas informações, ele procura compará-las com conhecimentos já existentes para compreendê-las, utilizando identificação e atribuição a diversas categorias. O DL aplica esse conceito ao contexto computacional, utilizando redes neurais com características específicas que suportam esse tipo de aprendizado (JAKHAR; KAUR, 2020).

O termo *Deep*, em tradução livre para o português, "profundo", refere-se ao número de camadas presentes em uma RNA. Basicamente, uma RNA é composta por três tipos de camadas: A camada de entrada que recebe dados, a camada de saída que gera os resultados, e a camada oculta que extrai padrões dos dados fornecidos. Uma RNA superficial possui apenas uma camada oculta, realizando a tentativa de padronização uma vez. Em contraste, uma RNA profunda diferencia-se por ter várias camadas ocultas, realizando mais tentativas de padronização e consequentemente sendo capaz de identificar padrões e executar tarefas mais complexas (JAKHAR; KAUR, 2020). Logo, DL é uma técnica aplicada a RNA profundas, que suportam esse tipo de aprendizado. Em termos práticos, a técnica de DL apresenta um desempenho robusto quando aplicado a um contexto de dados não estruturados, porém demanda uma quantidade significativa de dados de treinamento, além de exigir hardware e software mais sofisticados (JAKHAR; KAUR, 2020).

2.5 Visão Computacional

Visão computacional é uma técnica que usa de algoritmos computacionais para extrair informações sobre o mundo físico a partir de imagens. Através de um sistema de visão computacional, é possível obter uma descrição, de acordo com as demandas específicas de cada tarefa, de uma cena física capturada por um sensor de imagem, como uma câmera de vídeo digitalizadora (WALTERS, 2003).

Aplicações de visão computacional vem ganhando relevância nas áreas de automação e robótica (OKARMA, 2020). No campo da pesquisa de tecnologias assistivas, algoritmos de visão computacional veem sendo utilizados no controle de membros protéticos, desenvolvimento de cadeiras de rodas inteligentes e reconhecimento de emoções e expressões faciais (LEO et al., 2017).

Dentro da visão computacional técnicas de auto-localização visual e mapeamento, popularmente conhecidas como *Visual Self-Localization And Mapping* (SLAM) também têm sido utilizadas para estimar rotas e para planejamentos de movimentação (LEO et al., 2017). Nesse sentido, a robótica móvel é uma das áreas que se favorece da computação visual, uma vez que através dela, a quantidade de informações coletadas sobre um determinado ambiente pode ser o suficiente para construir soluções eficazes de navegação e planejamento de rotas (CEBOLLADA et al., 2021).

As aplicações da computação visual se estendem também á IHR, possibilitando, por meio da detecção de gestos ou expressões, uma comunicação do usuário com um robô de maneira mais natural e intuitiva (LEO et al., 2017). Sistemas robóticos assistivos que usam deste recurso já foram propostos em ambiente domésticos, como o de Mollaret et al. (2016), cuja característica principal é a capacidade de iniciar a interação com um usuário apenas quando é detectada a intenção do usuário de fazê-la (LEO et al., 2017), resultando em um robô não intrusivo e dentro da abordagem de IHR centrada no humano.

Detectar objetos também é uma tarefa que utiliza da visão computacional. Segundo Leo et al. (2017), a detecção de objetos pode ser dividida em duas abordagens: a baseada em marcadores, que exigem etiquetas visuais colocadas nos objetos a serem identificados; e a que não faz uso de marcadores, isto é, que utiliza sequências mais complexas de algoritmos que coletam informações como a forma, textura, cor e outras características físicas do objeto para a identificação deles (JAFRI et al., 2014). Independentemente da estratégia de detecção, o princípio de reconhecimento de objetos consiste em realizar correspondências da imagem capturada em relação a um conjunto de exemplos fornecidos como entrada. Isso pode ser feito através de um programa baseado em ML em uma rede neural após uma etapa de treinamento (WEI; PHUNG; BOUZERDOUM, 2014).

2.6 Sistemas Embarcados

Um sistema embarcado é uma combinação de vários componentes eletrônicos e mecânicos projetados para a realização de uma tarefa específica em tempo real, com alta eficiência e desempenho (SHANMUGAVEL; T; R, 2018). Esses sistemas são utilizados em diversos dispositivos eletrônicos de consumo, como eletrodomésticos, equipamentos médicos e telefones celulares. Chamamos esses sistemas de embarcados, porque o microprocessador, componente responsável pelo controle do sistema, está embutido diretamente dentro do produto. Alguns sistemas embarcados são também chamados de microcontroladores (MCU's) (TOULSON; WILMSHURST, 2017).

Os elementos principais que compõem um microcontrolador são: núcleo, memória e periféricos (TOULSON; WILMSHURST, 2017). Os periféricos são os elementos que distinguem um microcontrolador de um microprocessador, pois são eles que permitem a interação do sistema com o mundo exterior. São exemplos de periféricos saídas digitais, analógicas, portas seriais, temporizadores, contadores e outros subsistemas úteis para um dispositivo microcontrolado (TOULSON; WILMSHURST, 2017).

Apesar de sistemas robóticos e sistemas embarcados serem conceitos distintos, estão relacionados. Aplicações como máquinas de lavar que detectam sujeira nas roupas e realizam ações específicas, e condicionadores de ar que percebem a temperatura externa e a ajustam a temperatura interna do ambiente são exemplos de sistemas embarcados inteligentes, que assim como robôs, percebem características do ambiente por meio de sensores e tomam decisões a partir delas (SHANMUGAVEL; T; R, 2018).

2.6.1 STM32

A família STM32 é uma ampla gama de microcontroladores produzida pela empresa STMicroelectronics, e que é dividida em nove subfamílias, cada uma com suas próprias características. A produção comercial desses dispositivos começou em 2007, com a série STM32F1, que ainda segue em desenvolvimento. Todos os microcontroladores STM32 têm um núcleo Cortex-M, e internamente, são compostos por um núcleo de processamento, RAM estática, memória flash, interface de depuração e vários outros periféricos específicos de cada modelo e família (NOVIELLO, 2016).

2.6.1.1 STM32F411CEU6

O microcontrolador STM32F411CEU6, da família STM32F4, é baseado no núcleo ARM Cortex-M4 de 32 bits e opera com uma frequência de até 100 MHz (STMICROELECTRONICS, 2017). A série de dispositivos da família STM32F4 é o grupo mais difundido de microcontroladores baseados em Cortex-M4 no segmento de alto desempenho (NOVIELLO, 2016). De maneira geral o STM32F411CEU6 apresenta uma memória embarcada de alta

velocidade e uma variedade de entradas e saídas, e periféricos, fazendo dele um dispositivo adequado para uma ampla gama de aplicações, como no controle de motores, equipamentos médicos, aplicações industriais (controladores lógicos programáveis, inversores, disjuntores), sistemas de alarme, eletrodomésticos, sensores e entre outros ([STMICROELECTRONICS, 2017](#)). A tabela 1 mostra atributos técnicos específicos deste microcontrolador descritas pelo fabricante.

Tabela 1 – Ficha técnica STM32F411CEU6

Processador	ARM Cortex-M4 com FPU de 32 bits
Encapsulamento	UFQFPN
Frequência	100MHz
SRAM	128 Kbytes
Memória Flash	512 Kbytes
Periféricos	I2C,SPI, I2S, USARTs,SDIO, USB 2.0 OTG

Fonte: Adaptado de [STMicroelectronics \(2017\)](#)

Ademais das características citadas, o microcontrolador em questão possui seis* *timers* ou temporizadores de propósito geral de 16 bits, incluindo um temporizador PWM para controle de motor, e dois de propósito geral de 32 bits ([STMICROELECTRONICS, 2017](#)). Vale ressaltar ainda, que a placa STM32F411CEU6 opera na faixa de temperatura de -40 a +125 °C, com alimentação de 1,7 a 3,6 V ([STMICROELECTRONICS, 2017](#)). A conexão USB para fins de debug e programação também pode ser utilizada como fonte de alimentação da placa, de tal forma que quando a placa estiver conectada via USB, ela também estará sendo alimentada pela energia fornecida. Em aplicações autônomas, em que faz-se necessário o uso de uma fonte de alimentação externa, utilizam-se os respectivos pinos de alimentação da placa ([UNSALAN; BARKANA; GURHAN, 2021](#)). A Figura 1 representa o diagrama de pinagem da placa.

A placa Sipeed MaixDuino é projetada com base no desing e estrutura da placa Arduino UNO, fazendo dele também compatível com seu ambiente de desenvolvimento e módulos. De maneira geral, o sistema MaixDuino integra câmera, slot para cartão de memória, botões do usuário, display TFT e interface de expansão MaixDuino*. Além disso, possui uma interface de desenvolvimento e depuração para aplicações de IA e reconhecimento facial (SIPEED, 2019). Destaca-se também a inclusão do FreeRTOS com suporte à versão exclusiva de MicroPython desenvolvida pela Sipeed, chamada de MaixPy. A plataforma de desenvolvimento também conta com suporte para Redes Neurais Convolucionais por meio de um KPU e conectividade Wi-Fi e Bluetooth gerenciada por um módulo ESP-32 (LEITE, 2023). A tabela 2 reúne mais aspectos técnicos relevantes da placa descritos pelo fabricante.

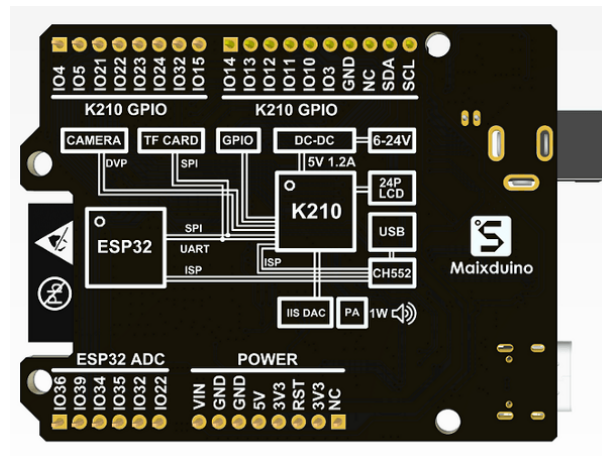
Tabela 2 – Ficha técnica Maixduino

Processador	RISC-V Dual Core 64bit, with FPU
Frequência	400MHz (overclockable to 600MHz)
SRAM	8M Byte
Memória Flash	512 Kbytes
Deteção de Imagem	QVGA@60fps/VGA@30fps
Deteção de voz	Microphone array (8mics)
Rede Neural	Support YOLOv3, Mobile netv2, TinyYOLOv2
Deep Learning Framework	TensorFlow, Keras, Darknet; Caffe
Periféricos	FPIOA, UAR, GPIO, SPI, I2C, I2S, TIMER
Processamento de Vídeo	Neural Network Processor (KPU)

Fonte: Adaptado de SIPEED (2019)

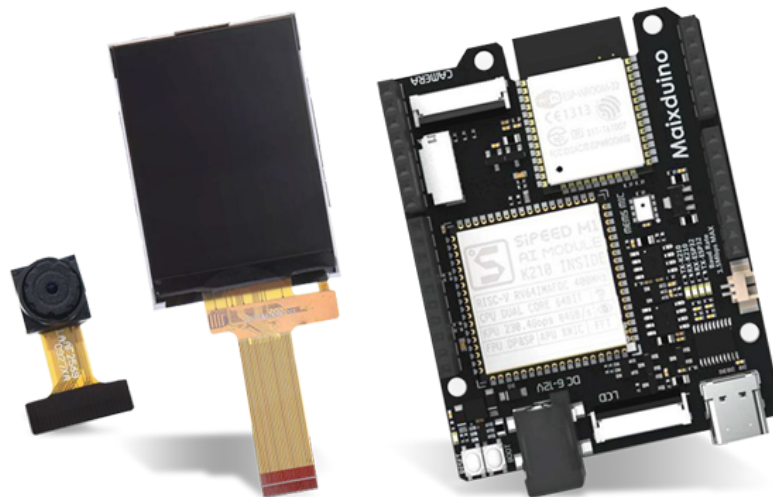
A tensão de operação do módulo M1 é 5V, com uma corrente de no mínimo 300mA. Apesar disso, aconselha-se alimentar o kit MaixDuino com uma fonte de 6 a 12V, devido a presença de conectores para um alto-falante de 1.2mm (LEITE, 2023). A Figura 3 mostra o verso do microcontrolador, que contém um diagrama dos pinos e funcionalidades do Maixduino, enquanto a Figura 4 mostra os componentes do Kit MaixDuino, isto é, a placa acompanhada de um módulo de câmera OV2640 e um Display TFT de 2,4 polegadas.

Figura 3 – Diagrama de pinos de entrada e saída presentes no verso da placa Sipeed Maixduino.



Fonte: Adaptado de [SIPEED \(2019\)](#).

Figura 4 – Kit de desenvolvimento Sipeed Maixduino.



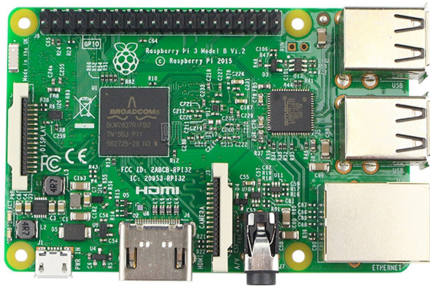
Fonte: Adaptado de [Mouser Electronics \(2022\)](#).

2.6.3 Raspberry Pi 3

Desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation, o Raspberry Pi 3, representado na Figura 5, é uma placa de desenvolvimento de código aberto baseada em Linux ([RASPBERRY PI FOUNDATION, 2019](#)). É equipado com um processador Quad-core Broadcom BCM2837 operando a 1,2 GHz, e juntamente com uma variedade de periféricos, proporciona um desempenho de processamento robusto para diversas aplicações. Além disso, o Raspberry Pi 3 apresenta conectividade sem fio integrada, utilizando módulos Wi-Fi 802.11n e Bluetooth 4.2, oferecendo opções versáteis de comunicação. Suas quatro portas USB 2.0 permitem a conexão de diversos periféricos, enquanto a porta Ethernet

possibilita a conexão com redes com fio. A saída HDMI permite conectar o Raspberry Pi a monitores ou TVs para exibição de vídeo ([RASPBERY PI FOUNDATION, 2019](#)). Na tabela 3 estão mais informações técnicas da placa que complementam seu perfil técnico.

Figura 5 – Placa Raspberry Pi 3



Fonte: Adaptado de [AMAZON \(2023\)](#).

Tabela 3 – Ficha técnica Raspberry Pi





















Processador	1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53
Frequência CPU	1.2Ghz
RAM	1GB
Sistema Operacional	Micro SD card c/ Linux ou Windows
Saída de Vídeo	HDMI 1.3/ 1.4 Composite RCA (PAL and NTSC)
Saída de Áudio	Audio Output 3.5mm jack, HDMI
	4 conectores USB 2.0
GPIO	Barra de conectores de 40 pinos (2x20)
	Inlcui 27 pinos de GPIO
Conexão de Câmera	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
Conexão de Display	Display Serial Interface (DSI)
Slot de Cartão de Memória	Push/pull Micro SDIO

Fonte: Adaptado de [Raspberry Pi Foundation \(2019\)](#)

O Raspberry Pi possui uma conexão de energia microUSB de 5V, localizada no canto inferior esquerdo da placa. A corrente de alimentação recomendada 1.2A ([RASPBERY](#)

PI FOUNDATION, 2019). A figura 6 mostra um diagrama contendo o esquema de pinagem da placa.

Figura 6 – Diagrama de pinos de entrada e saída da placa Raspberry Pi 3.

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I2C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I2C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I2C ID EEPROM)		(I2C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Fonte: Adaptado de [Sparkfun \(2022\)](#).

3 Metodologia

Visando atingir os objetivos gerais e específicos do trabalho, a construção do sistema proposto foi dividida em cinco etapas: (i) Estudo de Requisitos, (ii) Desenvolvimento de Firmwares, (iii) Validação e Integração dos Firmwares, (iv) Desenvolvimento da PCI, (v) Desenvolvimento e Impressão da Estrutura 3D, (vi) Testes Finais.

3.1 Estudo de Requisitos

Com o intuito de alcançar os objetivos do projeto, será feita uma análise detalhada dos requisitos do trabalho, seguida de uma pesquisa sobre as tecnologias à nível de software e hardware disponíveis para a sua execução.

3.2 Desenvolvimento de Firmwares

Cada um dos três sistemas embarcados utilizados neste trabalho terá um firmware específico projetado para atender aos requisitos de cada microcontrolador. Para assegurar um funcionamento robusto, os firmwares serão desenvolvidos individualmente e, posteriormente, integrados em um único sistema.

3.2.1 Firmware STM32

Etapa de desenvolvimento de um *firmware* embarcado em um microcontrolador STM32, cuja função primordial será, por meio de *timers* controlar o acionamento de motores e o funcionamento de um sensor ultrassônico. Os motores em questão são: dois motores de 9V acoplados às esteiras, que garantem a movimentação do robô, e um servomotor responsável pela abertura e fechamento de uma garra mecânica para coleta de objetos. O sensor ultrassônico será utilizado para detecção de objetos a frente e estabelecimento de uma distância segura para acionamento da garra. A implementação desse firmware também conta com um sistema de recebimento e envio de informações via protocolo serial para um dispositivo de processamento central com o intuito de realizar uma tarefa coordenada com os demais microcontroladores.

3.2.2 Firmware Raspberry Pi 3

Etapa de desenvolvimento de um *firmware* embarcado que funcionará como central de comando para os demais microcontroladores além de ser o programa que, através do reconhecimento de voz, inicia todas as tarefas realizadas pelo robô. Este firmware usará de

bibliotecas em Python de reconhecimento de voz combinadas com o uso de dispositivos físicos de entrada e saída de áudio como microfones e auto-falantes, que transformarão comandos de voz em comandos de texto e textos de resposta em áudio. Cada comando de voz dado por um usuário, após ser convertido em texto será enviado via serial para os microcontroladores STM32 e Maixduino, e resultarão em uma ação coordenada conjunta e de acordo com o comando dado.

3.2.3 Firmware Maixduino

Etapa de desenvolvimento de um firmware embarcado que usará de modelos de inteligência artificial baseadas em Deep Learning para reconhecimento e detecção de objetos e faces. Além disso, o programa contará com um sistema de recebimento e envio de informações via protocolo serial para um dispositivo de processamento central, com o intuito de realizar uma tarefa coordenada com os demais microcontroladores.

3.3 Validação e Integração dos Firmwares

Estágio de validação individual de cada firmware implementado, e posterior integração de cada uma das soluções em um só sistema.

3.4 Desenvolvimento da PCI

Etapa de construção de uma PCI (Placa de Circuito Impresso) no software KiCad, capaz de suportar o sistema e que atenda às demandas físicas da estrutura do robô. Neste estágio, será projetada e fabricada uma placa de circuito que interconecta os componentes eletrônicos essenciais, proporcionando uma plataforma estável e eficiente para o funcionamento integrado do sistema robótico.

3.5 Desenvolvimento e Impressão da Estrutura 3D

Etapa de desenvolvimento de um modelo 3D de todas as peças estruturais necessárias para a construção do sistema utilizando. Este processo envolve o uso do software Fusion 360 para criação e dimensionamento detalhado de cada componente estrutural, garantindo que atendam aos requisitos de design e funcionalidade. Posteriormente, as peças serão fabricadas utilizando a tecnologia de impressão 3D, proporcionando uma implementação eficiente e personalizada das partes fundamentais do sistema.

3.6 Testes Finais

Etapa de realização de testes que validem o funcionamento do sistema e assegurem a integração harmoniosa de todos os componentes. Nesta fase crítica, serão conduzidos testes para avaliar a eficiência e a confiabilidade das funcionalidades propostas, garantindo que o sistema atenda aos requisitos estabelecidos. Esses testes abrangerão diferentes cenários de operação, abordando tanto situações normais quanto possíveis cenários de contingência.

4 Cronograma

As atividades previstas para a finalização do projeto foram organizadas para serem cumpridas ao longo de 11 semanas. Portanto, o cronograma obedecerá às seguintes fases:

- **Fase A** - Etapa de Estudos de Requisitos;
- **Fase B** - Etapa de Desenvolvimento de Firmwares;
- **Fase C** - Etapa de Desenvolvimento da PCI;
- **Fase D** - Etapa de Desenvolvimento e Impressão da Estrutura 3D do Robô;
- **Fase E** - Etapa de Testes Finais do Sistema;

A metodologia será dividida conforme as etapas expostas na Tabela 4, discriminadas semana a semana, podendo também ser alterada conforme o desenvolvimento do trabalho.

Tabela 4 – Cronograma das atividades.

	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8	Sem. 9	Sem. 10	Sem. 11
Fase A	X										
Fase B		X	X	X	X						
Fase C					X	X	X				
Fase D							X	X	X		
Fase E									X	X	X

Fonte: Autoria própria (2024).

5 Recursos Necessários

Para o desenvolvimento deste projeto serão necessários os seguintes equipamentos e materiais:

- Microcontrolador STM32F411CEU6;
- Microcontrolador Maixduino;
- Mini Computador Raspberry Pi 3;
- Microfone USB;
- Auto-falante USB;
- Chassi SN2500;

Referências Bibliográficas

AMAZON. Placa raspberry pi 3 modelo b. 2023. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/RS-Components-RASPBERRYPI3-MODB-1GB-Raspberry-modelo/dp/B01N13X8V1>>. Citado na página 25.

BONIFAS, R. P. et al. Aging and place in long-term care settings: influences on social relationships. *J Aging Health*, United States, v. 26, n. 8, p. 1320–1339, dez. 2014. Citado na página 11.

BRASIL. Lei nº 13.146, artigo 74, de 6 de julho de 2015. institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Citado na página 12.

BRUZZONE, L.; NODEHI, S. E.; FANGHELLA, P. Tracked locomotion systems for ground mobile robots: A review. *Machines*, v. 10, n. 8, 2022. ISSN 2075-1702. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-1702/10/8/648>>. Citado na página 16.

CAT. ATA - VII Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas (CAT). In: COORDENADORIA NACIONAL PARA INTEGRAÇÃO DA PESSOA PORTADORA DE DEFICIÊNCIA. *VII Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas - CAT*. Secretaria Especial dos Direitos Humanos), 2007. p. 4. Disponível em: <https://www.assistiva.com.br/Ata_VII_Reuni%C3%A3o_do_Comite_de_Ajudas_T%C3%A9cnicas.pdf>. Citado na página 10.

CEBOLLADA, S. et al. A state-of-the-art review on mobile robotics tasks using artificial intelligence and visual data. *Expert Systems with Applications*, v. 167, p. 114195, 2021. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741742030926X>>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 19.

DAMIANO, L.; DUMOUCHEL, P. Anthropomorphism in human–robot co-evolution. *Frontiers in Psychology*, v. 9, 2018. ISSN 1664-1078. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.00468>>. Citado na página 17.

DAUTENHAHN, K. Socially intelligent robots: dimensions of human-robot interaction. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, England, v. 362, n. 1480, p. 679–704, abr. 2007. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.

D'ONOFRIO, G.; SANCARLO, D. Assistive robots for healthcare and humanndash;robot interaction. *Sensors*, v. 23, n. 4, 2023. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/1883>>. Citado na página 14.

ERINLE, T. J.; OLADEBEYE, D. H.; ADEMILOYE, I. B. *A Review of Robotics and Artificial Intelligence as Indisputable Implements for Developing Country Advanced Technology Development*. OSF Preprints, 2022. Disponível em: <osf.io/57skm>. Citado na página 16.

FEIL-SEIFER, D.; MATARIC, M. J. Defining socially assistive robotics. IEEE, 2005. Citado na página 10.

FONG, T.; NOURBAKHS, I.; DAUTENHAHN, K. A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 42, n. 3, p. 143–166, 2003. ISSN 0921-8890. Socially Interactive Robots. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188900200372X>>. Citado na página 16.

ISO. *International Organization for Standardization - 8373:2021(E) - Robotics Vocabulary*. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75539/1bc8409322eb4922bf680e15901852d2/ISO-8373-2021.pdf>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023. Citado na página 14.

JAFRI, R. et al. Computer vision-based object recognition for the visually impaired in an indoors environment: a survey. *The Visual Computer*, v. 30, n. 11, p. 1197–1222, nov. 2014. Citado na página 19.

JAKHAR, D.; KAUR, I. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: definitions and differences. *Clinical and Experimental Dermatology*, v. 45, n. 1, p. 131–132, 01 2020. ISSN 0307-6938. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ced.14029>>. Citado na página 18.

JAKHOTIYA, Y.; HAQUE, I. *Improving Assistive Robotics with Deep Reinforcement Learning*. 2022. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2209.02160>>. Citado na página 17.

KAPLAN, F. et al. Taming robots with clicker training: A solution for teaching complex behaviors. 11 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/2489373_Taming_robots_with_clicker_training_A_solution_for_teaching_complex_behaviors>. Citado na página 16.

LEITE, E. Aplicação de machine learning em sistemas embarcados de borda: um estudo de caso. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38588>>. Citado na página 23.

LEO, M. et al. Computer vision for assistive technologies. *Computer Vision and Image Understanding*, v. 154, p. 1–15, 2017. ISSN 1077-3142. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314216301357>>. Citado na página 19.

MARQUIS, P.; PARDE, H.; PAPINI, O. *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research: Volume III: Interfaces and Applications of Artificial Intelligence*. [S.l.]: Springer Cham, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Boletim temático da biblioteca do Ministério da Saúde*. [S.l.], 2022. v. 2. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/boletim_tematico/saude_idoso_outubro_2022-1.pdf>. Citado na página 10.

MOHAMMED, A. A. *A Brief Introduction on Artificial Intelligence*. IJARIIT - International Journal Of advance research, Ideas And Innovations In Technology, 2020. 254-257 p. Disponível em: <<https://www.ijariit.com/manuscripts/v6i2/V6I2-1238.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

MOLLARET, C. et al. A multi-modal perception based assistive robotic system for the elderly. *Computer Vision and Image Understanding*, v. 149, p. 78–97, 2016. ISSN 1077-3142. Special issue on Assistive Computer Vision and Robotics

- "Assistive Solutions for Mobility, Communication and HMI". Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314216000758>>. Citado na página 19.
- MORENO, J. et al. Design, implementation and validation of the three-wheel holonomic motion system of the assistant personal robot (apr). *Sensors*, v. 16, n. 10, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1658>>. Citado na página 16.
- Mouser Electronics. Sipeed maixduino kit for risc-v ai + iot. 2022. Disponível em: <https://br.mouser.com/pdfDocs/Product_Overview-SeedStudioSipeedMaixduinoKit.pdf>. Citado na página 24.
- Mouser Electronics. Dfrobot stm32f411 blackpill development board. 2023. Disponível em: <<https://br.mouser.com/new/dfrobot/dfrobot-stm32f411-blackpill-board/>>. Citado na página 22.
- NOVIELLO, C. *Mastering STM32: A Step-by-step Guide to the Most Complete ARM Cortex-M Platform, Using a Free and Powerful Development Environment Based on Eclipse and GCC*. Leanpub, 2016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ZZnfzQEACAAJ>>. Citado na página 20.
- OKARMA, K. Applications of computer vision in automation and robotics. *Applied Sciences*, v. 10, n. 19, 2020. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/19/6783>>. Citado na página 19.
- ONU. *Organização das Nações Unidas -Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Optional Protocol*. [S.l.], 2006. Disponível em: <<https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-e.pdf>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023. Citado na página 11.
- ONU. *Organização das Nações Unidas - World Population Ageing 2013*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2023. Citado na página 10.
- PERRY, T. E.; ANDERSEN, T. C.; KAPLAN, D. B. Relocation remembered: perspectives on senior transitions in the living environment. *Gerontologist*, United States, v. 54, n. 1, p. 75–81, jul. 2013. Citado na página 11.
- RASPBERRY PI FOUNDATION. *Raspberry Pi 3 Model B*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://us.rs-online.com/m/d/4252b1ecd92888dbb9d8a39b536e7bf2.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.
- RENDYANSYAH, R. Implementation of mfcc and svm for voice command recognition as control on mobile robot. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 2022. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:252963010>>. Citado na página 16.
- SAWIK, B. and et al. *Robots for Elderly Care: Review, Multi-Criteria Optimization Model and Qualitative Case Study*. MDPI, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-9032/11/9/1286>>. Citado na página 10.

- SCHULZ, R. et al. Advancing the Aging and Technology Agenda in Gerontology. *The Gerontologist*, v. 55, n. 5, p. 724–734, 08 2014. ISSN 0016-9013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/geront/gnu071>>. Citado na página 12.
- SHANMUGAVEL, B.; T, R.; R, K. Applications and future scope of robotics-a review. 06 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326293920_Applications_and_Future_scope_of_Robotics-A_Review>. Citado 3 vezes nas páginas 14, 16 e 20.
- SIPEED. Maixduino development board. *Applied Sciences*, 2019. Disponível em: <https://wiki.sipeed.com/hardware/en/maix/maixpy_develop_kit_board/maix_duino.html>. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 24.
- SNPD. *Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência - Cartilha do Censo 2010, Pessoas com Deficiência Física*. [S.l.], 2012. Disponível em: <<https://inclusao.enap.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/cartilha-censo-2010-pessoas-com-deficiencia-reduzido-original-eleitoral.pdf>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2023. Citado na página 10.
- Sparkfun. Raspberry gpio pinout. 2022. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/raspberry-gpio/gpio-pinout>>. Citado na página 26.
- STMICROELECTRONICS. *STM32F411xC*. [S.l.], 2017. Rev. 7. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- SUJATHA, P. V. Introduction to robotics. p. 3, 04 2021. Disponível em: <<https://ijarsct.co.in/ICISCT007.pdf>>. Citado na página 14.
- TOULSON, R.; WILMSHURST, T. Chapter 1 - embedded systems, microcontrollers, and arm. In: TOULSON, R.; WILMSHURST, T. (Ed.). *Fast and Effective Embedded Systems Design (Second Edition)*. Second edition. Newnes, 2017. p. 3–18. ISBN 978-0-08-100880-5. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081008805000013>>. Citado na página 20.
- UNSANAN, C.; BARKANA, D. E.; GURHAN, H. D. Hardware to be used in the book. In: _____. *Embedded Digital Control with Microcontrollers*. John Wiley Sons, Ltd, 2021. cap. 2, p. 5–21. ISBN 9781119576600. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119576600.ch2>>. Citado na página 21.
- WALTERS, D. Computer vision. In: _____. *Encyclopedia of Computer Science*. GBR: John Wiley and Sons Ltd., 2003. p. 431–435. ISBN 0470864125. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/1074100.1074274>>. Citado na página 19.
- WEI, X.; PHUNG, S. L.; BOUZERDOUM, A. Object segmentation and classification using 3-d range camera. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, v. 25, n. 1, p. 74–85, 2014. ISSN 1047-3203. Visual Understanding and Applications with RGB-D Cameras. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1047320313000631>>. Citado na página 19.
- WHO. *World Health Organization - World Report Ageing*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565042>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

WILES, J. L. et al. The Meaning of “Aging in Place” to Older People. *The Gerontologist*, v. 52, n. 3, p. 357–366, 10 2011. ISSN 0016-9013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/geront/gnr098>. Citado na página 11.

ANEXO A – Exemplo

Você pode anexar qualquer tipo de material ilustrativo, tais como tabelas, lista de abreviações, documentos ou parte de documentos, resultados de pesquisas, etc. Apenas como exemplo, aqui serão dadas algumas indicações para apresentação gráfica de seu projeto.

- Utilizar papel branco, A4.
- Fonte estilo normal, tamanho 12.
- Citações com mais de três linhas, fonte tamanho 11, espaçamento simples e recuo de 4cm da margem esquerda.
- Notas de rodapé, fonte tamanho 10.
- Todas as letras dos títulos dos capítulos devem ser escritas no canto esquerdo de cada página, em negrito e maiúsculas.
- Cada capítulo deve começar em folha nova.
- O espaçamento entre linhas deve ser 1,5.
- O início de cada parágrafo deve ser recuado de 2cm. da margem esquerda.
- As margens das páginas devem ser: superior e esquerda de 3cm; inferior e direita de 2cm.
- O número da página deve aparecer na borda superior direita, em algarismos arábicos, inclusive das Referências e Anexos, somente a partir da Introdução, embora todas sejam contadas a partir da folha de rosto. Não contar a capa para efeito de numeração.