



**André Salgado 97708
João Arede 98443
João Marques 98246
Tiago Gândara 99257**

**Desenvolvimento de um veículo autoguiado
equipado com manipulador de 3 eixos**

P7 - Robochanics



André Salgado 97708
João Arede 98443
João Marques 98246
Tiago Gândara 99257

**Desenvolvimento de um veículo autoguiado
equipado com manipulador de 3 eixos**

P7 - Robochanics

Relatório da unidade curricular de Projeto em Sistemas de Automação do Mestrado (Integrado) em Engenharia Mecânica (MEM/MIEM), realizado sob orientação de Jorge Augusto Fernandes Ferreira.

palavras-chave

Automação, Veículo Autoguiado, Arduino UNO Wifi, Lattepanda, Ultrasom, Infravermelho, Manipulador

resumo

Nos últimos anos, os veículos autoguiados têm sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação em diversos setores, sobretudo no contexto industrial. Este tipo de veículos, também conhecidos como veículos autónomos, são projetados com o objetivo de otimizar sistemas, através da automatização de processos de transporte, economizando tempo e consequentemente impulsionando a produtividade e eficiência operacional das empresas. Neste projeto, o protótipo desenvolvido apresenta dois modos de funcionamento e tem como principais funções o seguimento de um trajeto predefinido, capacidade de transporte de pequenos objetos ferromagnéticos, capacidade de deteção e contorno de obstáculos. O trajeto encontra-se no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, sendo que este foi concebido para a realização da demonstração do funcionamento do protótipo. Para o cumprimento das várias funcionalidades, o veículo encontra-se equipado com alguns componentes de instrumentação nomeadamente um Arduino UNO Wifi Rev 2, um Lattepanda, sensores de ultrassom e infravermelhos, uma câmara e um manipulador de 3 eixos. As fontes energéticas são uma powerbank de 5 V e uma bateria de 12 V, que alimentam a totalidade dos componentes. Os resultados alcançados, reflexões e considerações futuras também são apresentados, sendo que todos os objetivos definidos para o projeto foram atingidos com sucesso.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e enquadramento	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura do documento	3
1.4	Planeamento e calendarização	3
2	Materiais e software	7
2.1	Equipamentos utilizados	7
2.1.1	Arduino Uno WiFi Rev 2	7
2.1.2	LattePanda e câmara	7
2.1.3	Servo MG995 180°	8
2.1.4	Micro servo SG90	8
2.1.5	Sensor de ultrassom HC-SR04	8
2.1.6	Sensor infravermelho	8
2.1.7	Motores DC Brushless 12 V	8
2.1.8	Driver L298N	8
2.1.9	Relé	8
2.1.10	Eletroíman	9
2.2	Software utilizado	9
2.2.1	Solidworks	9
2.2.2	Arduino IDE	9
2.2.3	MIT App Inventor	9
2.2.4	Ultimaker Cura	9
3	Desenvolvimento de conceito	11
3.1	Definição da montagem do veículo	11
3.1.1	Componentes	11
3.1.2	Esquema elétrico	17
3.2	Baterias e alimentação	18
3.3	Servidor	18
3.4	Modos de controlo	19
3.5	Controlo Manual	20
3.6	Condução Autónoma	21
3.7	Manipulador de 3 eixos	22
3.7.1	Interface de controlo do manipulador	23
3.8	Protótipo real e modelação	24

4	Testes e resultados	25
5	Conclusões e trabalho futuro	29
5.1	Conclusões	29
5.2	Trabalho futuro	30

Lista de Figuras

1.1	Pista para o percurso do veículo.	3
1.2	Gantt Chart da Fase 0 da calendarização.	4
1.3	Gantt Chart da Fase 1 da calendarização.	5
1.4	Gantt Chart da Fase 2 da calendarização.	5
1.5	Gantt Chart da Fase 3 da calendarização.	6
3.1	Base de acrílico.	12
3.2	Motor com acoplamento e respetivo suporte.	12
3.3	Bateria de 12 V e suporte.	13
3.4	Bateria de 5 V e suporte.	13
3.5	Arduino e LattePanda localizados na base de acrílico.	14
3.6	Roda Motriz.	14
3.7	Roda livre de esfera e respetivo suporte.	15
3.8	Sensores infravermelhos e respetivos suportes.	15
3.9	Sensor ultrassom e respetivos suportes.	16
3.10	Drivers localizados na base de acrílico.	16
3.11	Relé localizado na base de acrílico.	17
3.12	Esquema elétrico.	18
3.13	Esquema de funcionamento do servidor.	19
3.14	Página principal da interface.	19
3.15	Interface Controlo Manual	20
3.16	Interface Condução Autónoma.	21
3.17	Manipulador de 3 eixos com adaptador.	23
3.18	Interface de controlo do manipulador.	23
3.19	Modelação do veículo.	24
3.20	Protótipo real do veículo.	24
4.1	Roda louca 64 mm.	26
4.2	Roda louca 39 mm com adaptador projetado.	26
4.3	Roda livre com esfera.	27

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 1

Introdução

Introdução do projeto, onde são apresentadas as motivações, os objetivos a cumprir e a estrutura deste documento.

1.1 Motivação e enquadramento

A história dos veículos autoguiados representa um marco significativo no desenvolvimento da automação industrial. Esta tecnologia revolucionária, também conhecida como veículos autónomos, tem potencial para transformar e melhorar a forma como os processos de transporte são executados. Desde os primeiros protótipos até aos avanços mais recentes, os veículos autoguiados têm impulsionado inovações em áreas como a inteligência artificial, sensores avançados e sistemas de controle. Por este motivo existe a necessidade de desenvolver um veículo autoguiado equipado com um manipulador para possível estudo em aplicações industriais.

Os primeiros robôs autónomos surgiram na década de 1940 e início dos anos 1950, criados por William Grey Walter. Os robôs foram usados em pesquisas para avanço da neurofisiologia e incluíam um sensor de luz e um sensor de choque com um tubo de vácuo. Edições posteriores dos seus robôs integravam um sensor de som, sendo capazes de encontrar uma estação de carregamento através da compreensão do ambiente ao seu redor. Embora estes primeiros robôs autónomos fossem um tanto rudimentares em comparação com os robôs controlados por IA de hoje, eles serviram de embasamento para os estudos e desenvolvimento posterior [1].

Na indústria, a maioria dos avanços em sistemas autónomos consistia em veículos guiados autonomamente (AGVs). Esses veículos continuam a ser amplamente utilizados presentemente, permitindo através de algum tipo de sistema a operação sem motorista. Os primeiros modelos desses veículos foram inventados e empregados na década de 1950, com a função principal de transportar produtos industriais de um local para outro. Os sistemas de controle utilizados naquela época são semelhantes aos atuais, não havendo necessidade de sistemas mais complexos. Este tipo de sistema consiste num fio embutido no piso, que gera um campo magnético. Dessa forma, mediante sensores capazes de rastrear o campo magnético, os AGVs percorrem a trajetória pretendida. [1]

Após a introdução dos AMRs criados por William Grey Walter, a maioria dos avanços em robótica autónoma foi em testes e experimentos de laboratório. Sendo que no início

da década de 1990 um AMR comercialmente viável se tornou disponível. Foi chamado de HelpMate e a sua principal função era a entrega e recolha de objetos. Este veículo desempenhou um papel de estafeta fundamental no hospital de Northwick Park NHS Trust [2], sendo responsável pela entrega de refeições, relatórios de exames e medicamentos, acabando por economizar o tempo útil dos funcionários [1].

É evidente que houve mudanças significativas nos últimos anos no desenvolvimento de veículos autoguiados, sendo que algumas empresas já contam com frotas deste tipo de veículos para a realização de tarefas logísticas. Em 2017, foi estabelecida uma parceria entre a DHL Supply Chain e a Locus Robotics, na qual a DHL atribuiu aos veículos a função de arrumar as encomendas dos clientes em armazéns. Por meio dessa parceria, a DHL demonstrou um aumento de produtividade na logística de 80% [3].

A história dos veículos autoguiados está intrinsecamente ligada à necessidade de estudos e pesquisa para desenvolvimento futuro. Procura-se assim idealizar uma solução que permita a melhoria de projetos futuros inseridos na indústria.

1.2 Objetivos

Face ao apresentado no Enquadramento, o objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento e construção de um veículo autoguiado, com 4 ou 2 rodas motrizes atuadas por motores DC, programado para atender aos seguintes propósitos:

- Capacidade para identificação das linhas limitantes da pista de testes e correção do movimento em execução.
- Capacidade para deteção de obstáculos e desvio dos mesmos.
- Capacidade de manuseamento de um manipulador de 2 ou 3 eixos.
- Capacidade de transporte de objetos metálicos através de uma garra eletromagnética.
- Capacidade de transmissão de imagem em tempo real, via câmara, para um dispositivo externo.
- Capacidade de controlo totalmente manual.

A Figura 1.1 representa a pista dedicada ao veículo autoguiado, a mesma encontra-se no LEICA (Laboratório de Eletrotecnia e Instrumentação e Controlo Automático) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. O circuito possui dimensões de 2,5 m x 2,5 m e apresenta dois obstáculos estrategicamente posicionados ao longo do percurso. Uma das extremidades do circuito requer que o protótipo recolha um objeto metálico e o transporte até a outra extremidade, desviando-se dos obstáculos encontrados e seguindo as linhas presentes no chão. Esta configuração proporciona um cenário realista para testar as capacidades de navegação e manipulação do veículo autoguiado.



Figura 1.1: Pista para o percurso do veículo.

1.3 Estrutura do documento

Este documento está dividido em 6 capítulos, sendo o primeiro uma breve introdução ao projeto, o seu enquadramento e motivação e por fim os seus objetivos.

No capítulo 2 abordam-se as tecnologias utilizadas para o fabrico e programação do veículo autónomo e todos os componentes e softwares utilizados, assim como uma breve explicação de cada um deles.

No capítulo 3 são enunciadas, de forma detalhada, todas as fases do processo de desenvolvimento realizadas antes da execução da fase de testes.

No Capítulo 4, aborda a fase de testes e a sua influência no processo de desenvolvimento do protótipo, sendo que são apresentados alguns exemplos e soluções adotadas para os problemas em causa.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do projeto, bem como os melhoramentos possíveis para trabalhos futuros. Este documento contem ainda a Bibliografia onde se encontram todos os documentos consultados para a realização deste trabalho.

1.4 Planeamento e calendarização

No planeamento e calendarização do projeto, foi essencial seguir uma metodologia estruturada. Inicialmente, foram sugeridas as tarefas a serem realizadas ao longo do projeto, levando em consideração os objetivos a serem alcançados. Cada uma dessas tarefas foi então atribuída a um tempo estimado para execução e uma categorização adequada, de modo a facilitar a organização e acompanhamento. Em seguida, com base nas habilidades técnicas (*hardskills*) e habilidades interpessoais (*softskills*) de cada membro, selecionou-se o elemento mais apropriado para realizar cada tarefa, considerando a eficiência e o aproveitamento dos recursos disponíveis. Essa abordagem permitiu um planeamento mais claro e objetivo, maximizando as hipóteses de sucesso do projeto.

A calendarização do projeto consistiu em estabelecer um diagrama *Gantt Chart* que determinou a sequência e duração das atividades ao longo do tempo. Com base nas tarefas identificadas e nos recursos disponíveis, foi possível definir os prazos para cada etapa do projeto. A calendarização também considerou as dependências entre as tarefas, garantindo que uma atividade não fosse iniciada antes da conclusão das suas atividades predecessoras. Isto permitiu uma visualização clara dos marcos e entregas do projeto, facilitando o acompanhamento do progresso e a identificação de eventuais desvios ou atrasos. Ao estabelecer um cronograma realista e bem estruturado, o planeamento e a calendarização contribuíram para uma organização eficiente e uma gestão eficaz do tempo. A calendarização foi dividida em 4 fases distintas, a fase de planeamento, desenvolvimento de conceito e software e finalmente a fase final, sendo que estas vão sendo atualizadas ao longo do projeto. As seguintes figuras ilustram o *Gantt Chart* relativo ao projeto.

Na fase 0, verificam-se etapas como a compreensão dos conceitos a desenvolver, pesquisa de mecanismos semelhantes, conhecimento dos colegas de trabalho e agendamento de reuniões semanais. Estas tarefas visam permitir um arranque saudável de todo o projeto e permitir adquirir as bases iniciais para a reta inicial.

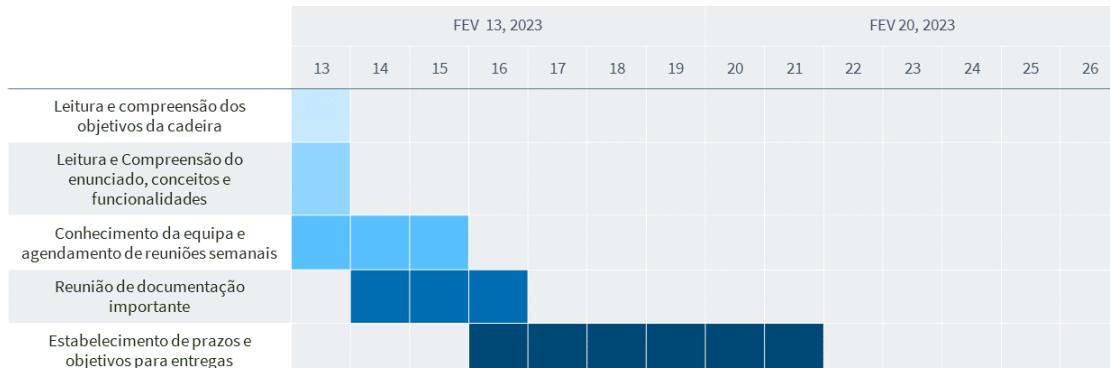


Figura 1.2: Gantt Chart da Fase 0 da calendarização.

As Fases 1 e 2 do projeto foram essenciais para o desenvolvimento de conceito e software, desempenhando um papel crucial em todo o projeto. Nestas fases, foram realizadas etapas importantes, como a elaboração de uma lista de componentes e um inventário detalhado para garantir a disponibilidade dos materiais necessários. Além disso, houve discussões sobre os *layouts* do protótipo, definindo a disposição dos componentes dentro dele. A arquitetura de software foi cuidadosamente projetada para garantir as conexões corretas e o funcionamento adequado do protótipo. Também foram realizadas tarefas para garantir o acoplamento e a fixação dos componentes eletrónicos ao *chassis* do protótipo. Além disso, também a programação dos modos de funcionamento foi realizada, porém, como é um processo iterativo, após cada demonstração e sessão de testes, alguns erros foram identificados e corrigidos.

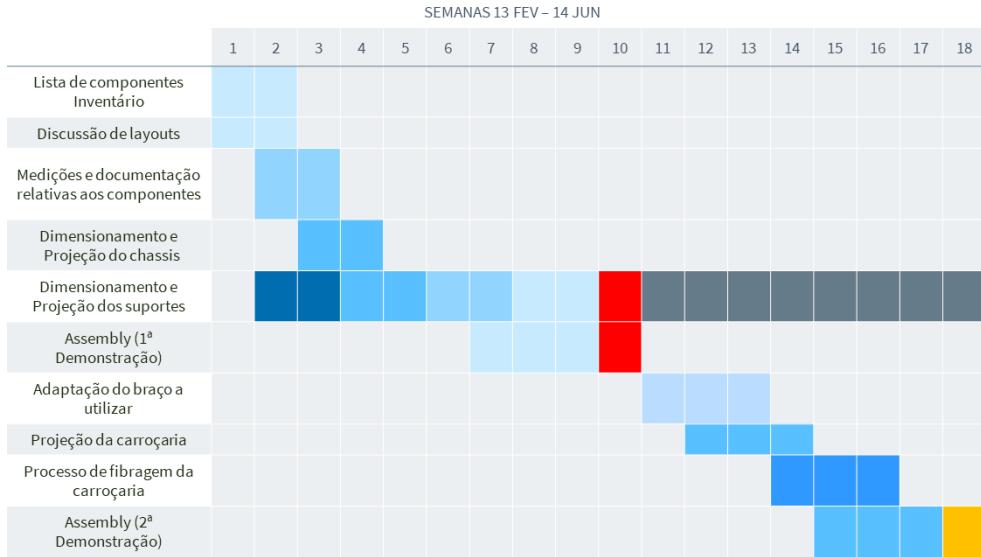


Figura 1.3: Gantt Chart da Fase 1 da calendarização.

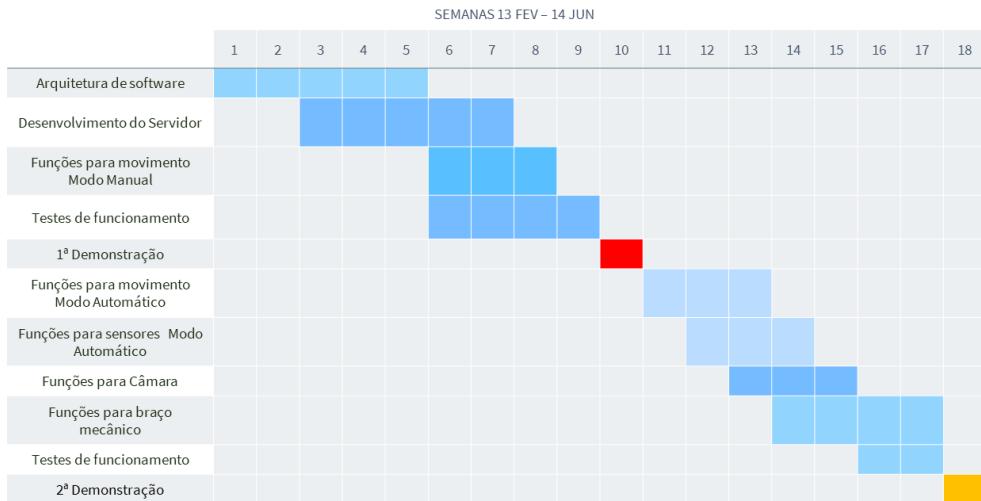


Figura 1.4: Gantt Chart da Fase 2 da calendarização.

A terceira e última fase do projeto aborda etapas cruciais de compreensão de erros e recolha de *feedback* do comportamento do protótipo, visando obter correções e otimizações posteriores. Nesta etapa, é realizada a análise detalhada dos erros e falhas identificados ao longo do desenvolvimento, visando compreender as suas causas e encontrar soluções adequadas.

Além disto, também se procedeu à escrita do relatório final, que documenta de forma completa e objetiva todo o processo de desenvolvimento, incluindo os desafios enfrentados, as soluções implementadas e os resultados alcançados. O relatório também abrange as lições aprendidas ao longo do projeto e recomendações para futuras melhorias.

A apresentação final do projeto também é realizada nesta fase, o que a torna de extrema importância, uma vez que se identifica como o final para todo o trabalho desenvolvido ao longo deste semestre.



Figura 1.5: Gantt Chart da Fase 3 da calendarização.

Capítulo 2

Materiais e software

Para a realização deste projeto, foram estudadas e aplicadas diversas áreas da engenharia, através da implementação de ferramentas e tecnologias para construção e programação do veículo. Neste capítulo, são apresentados os componentes e os softwares utilizados ao longo do desenvolvimento do projeto.

2.1 Equipamentos utilizados

2.1.1 Arduino Uno WiFi Rev 2

O Arduino Uno WiFi Rev 2 é uma plataforma programável que incorpora todos os recursos do Arduino Uno convencional. Esses recursos incluem a presença de 14 pinos digitais de entrada/saída, dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM (Modulação por Largura de Pulso). Além disso, integra também 6 pinos analógicos. Contém ainda um módulo de conectividade wi-fi que permite a comunicação com outros dispositivos assim como a ligação à Internet. Estes recursos tornam esta plataforma muito versátil, podendo ser utilizada em projetos que envolvam o controlo remoto de dispositivos, a comunicação com aplicações móveis e a monitorização de sensores, entre outros. Este dispositivo pode ser programado usando a linguagem arduino cuja base é a linguagem C/C++.

2.1.2 LattePanda e câmara

O LattePanda é um computador de placa única capaz de executar uma série de sistemas operativos compatíveis com a arquitetura x86. Esta plataforma de formato compacto apresenta capacidade de suportar o sistema operativo Windows e oferece um desempenho satisfatório para tarefas relacionadas a projetos IoT (Internet of Things). Além disto, o LattePanda possui conectividade wi-fi, portas USB, uma porta Ethernet, uma porta HDMI e um arduino integrado. A câmara USB LattePanda 5 MP é um sensor de imagem de 5 megapixels com compatibilidade de diferentes sistemas como, por exemplo, o LattePanda V1.

2.1.3 Servo MG995 180º

O servo MG995 180º é um servo habitualmente utilizado em projetos de robótica devido à sua excelente precisão e alta potência relativamente ao custo reduzido. O torque de saída apresenta-se como bastante significativo, tornando-se adequado para o movimento de partes mecânicas maiores e mais pesadas, apresentando uma capacidade de rotação de 180º.

2.1.4 Micro servo SG90

O micro servo SG90 é um servo motor compacto, leve e de baixo custo, frequentemente utilizado devido às suas reduzidas dimensões e ao baixo consumo energético. Apesar de apresentar limitações relativamente à sua precisão comparativamente a outros servos de maior qualidade, o seu tamanho torna-o uma aplicação viável quando o espaço é reduzido.

2.1.5 Sensor de ultrassom HC-SR04

O ultrassom HC-SR04 é um sensor utilizado para medir distâncias recorrendo a ondas sonoras. Este apresenta um transmissor que emite um pulso ultrassônico que se propaga pelo ar em forma de onda sonora, esta onda ao encontrar um objeto é refletida, retornando ao sensor, onde é captada pelo receptor que se encontra presente no módulo. A partir do tempo entre o envio e receção do pulso é possível calcular a distância a que se encontra um dado objeto.

2.1.6 Sensor infravermelho

Os sensores infravermelhos têm a capacidade de medir a radiação infravermelha emitida por objetos. Este consiste num emissor que emite radiação infravermelha e um receptor que capta essa radiação e a converte num sinal elétrico posteriormente processado.

2.1.7 Motores DC Brushless 12 V

Este motor, como o nome indica, não tem escovas e apresenta *driver* integrado, podendo ser ligado diretamente a um microcontrolador. A velocidade do motor é controlado por portas PWM e a direção via pinos digitais. O motor possui ainda encoder, que possibilita a implementação de um controlo em malha fechada para a velocidade.

2.1.8 Driver L298N

O driver L298N é um circuito integrado utilizado para controlar motores de corrente contínua (DC) além disso, também oferece a funcionalidade adicional de conversão de tensão, permitindo a transformação de 12 V para 5 V.

2.1.9 Relé

O relé é um dispositivo eletromecânico utilizado para controlar circuitos elétricos. Ele consiste numa bobina e um conjunto de contactos móveis acionados pela bobina.

Quando é aplicada uma corrente elétrica, a bobina existente dentro do relé gera um campo magnético que atrai os contactos móveis, fechando ou abrindo o circuito elétrico.

2.1.10 Eletroíman

O eletroíman é um dispositivo que gera um campo magnético a partir de uma corrente elétrica. Quanto mais corrente for fornecida ao eletroíman maior será a intensidade do campo magnético, por outro lado, assim que deixar de ser fornecida corrente, o campo magnético deixará de existir.

2.2 Software utilizado

2.2.1 Solidworks

O SolidWorks, desenvolvido pela Dassault Systèmes S.A., é um *software* de modelagem 3D que oferece diversas funcionalidades, incluindo a capacidade de realizar montagens *assembly*, permitindo visualizar todos os elementos de um projeto em conjunto. Após a conclusão da modelação é possível converter o arquivo para vários formatos CAD, sendo o formato “STL” um deles. Esse formato é considerado indispensável para plataformas de programação de impressão 3D.

2.2.2 Arduino IDE

O Arduino IDE ou “Arduino Integrated Development Environment” é uma aplicação de plataforma cruzada cuja programação provém de C/C++. Esta aplicação oferece uma série de funções e bibliotecas pré-definidas que simplificam a interação com os componentes eletrónicos conectados ao arduino.

2.2.3 MIT App Inventor

O MIT App Inventor é uma aplicação “open source” originalmente criada pela Google, porém atualmente mantida pelo MIT. Sem a necessidade de um nível elevado de programação, por utilizar uma programação gráfica, esta aplicação permite criar aplicativos de *software* para o sistema operativo Android, no entanto, também é possível utilizar em IOS recorrendo a um emulador.

2.2.4 Ultimaker Cura

O Ultimaker Cura é uma aplicação *open source* desenvolvida pela empresa Ultimaker. É uma opção simples e confiável para programar impressões 3D. O *software* permite a personalização de parâmetros considerados durante o processo de impressão, importando ficheiros CAD no formato STL.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 3

Desenvolvimento de conceito

Este capítulo aborda a implementação prática do conceito, descrevendo a aplicabilidade de cada componente e a sua disposição no protótipo. Além disso, apresenta o esquema elétrico do sistema e oferece informações detalhadas sobre os modos de funcionamento do protótipo.

3.1 Definição da montagem do veículo

Como referido na calendarização um dos passos cruciais foi a definição do *layout* do protótipo. Desta forma, procedeu-se a uma discussão das várias configurações para o veículo, tendo em conta as funções desempenhadas por cada componente, dimensões e peso dos mesmos. Nesta etapa, discutiram-se as expectativas de cada membro relativamente ao *design* do veículo. Após analisadas as configurações, conciliaram-se as várias ideias e conclui-se que o melhor *layout* seria a aposta num protótipo de apenas 1 “andar” com uma chapa retangular em acrílico, visto que este material é comumente utilizado neste tipo de projetos.

3.1.1 Componentes

Para uma correta modelação do protótipo e dos seus componentes, optou-se pela utilização do software SolidWorks. Através desta ferramenta foi possível realizar modelos CAD dos vários suportes dos componentes que integram o veículo e posteriormente executar o *assembly* do conjunto. Além disso, a disponibilidade de bibliotecas *online* permitiu a importação dos vários componentes eletrónicos que integram o veículo. Este processo foi importante, para a definição da localização dos equipamentos e posteriormente para a projeção de uma peça base para se proceder ao acoplamento dos mesmos.

Além disso, recorreu-se ao *software* Ultimaker Cura para ajustar os parâmetros de fabrico aditivo utilizados nas impressões realizadas na impressora 3D Creality Ender 3.

Base de acrílico

O desenvolvimento da base, conhecida como *chassis*, foi um passo crucial na modelação do protótipo. A modelação teve em consideração o *layout* definido previamente, assegurando que a base fosse projetada conforme as dimensões e configurações estabelecidas

(350 mm x 200 mm). Durante o processo de modelação, foram considerados os furos necessários para a montagem dos vários componentes eletrónicos que seriam integrados no projeto, como se verifica na Figura 3.1. Adicionalmente, reservou-se um espaço central na base para a passagem de cabos, uma vez que alguns componentes estariam localizados na parte superior e outros na parte inferior da estrutura. De notar que a espessura da base é de 5 mm.

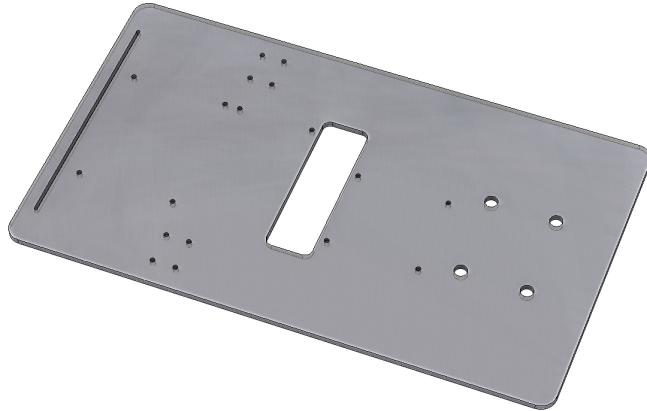


Figura 3.1: Base de acrílico.

Motores

Os motores desempenham um papel crucial no funcionamento do veículo, sendo responsáveis por todos os movimentos, desde o deslocamento numa única direção até à realização de curvas e rotação completa do veículo em torno do seu próprio eixo. Estes movimentos realizam-se através de 2 *inputs*, um que define a direção para qual o motor roda e outro que define a velocidade, valor que varia entre 0 e 265, onde 0 representa a velocidade máxima e 265 representa o motor parado.

De modo a aprimorar o controlo dos movimentos do veículo, optou-se por colocar os motores na parte da frente do carro. Adicionalmente, uma vez que também seria necessário colocar equipamentos na parte inferior da base, projetaram-se os suportes dos motores com altura suficiente para facilitar a montagem dos restantes equipamentos. A Figura 3.2 ilustra a modelação executada.

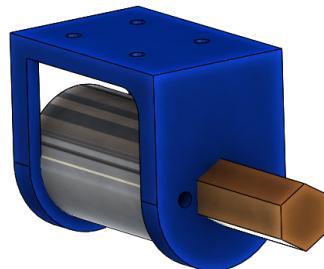


Figura 3.2: Motor com acoplamento e respetivo suporte.

Baterias

As baterias são responsáveis por fornecer energia a todos os componentes, sendo que o modo de funcionamento e mais informações relativamente ao sistema de alimentação encontram-se no Capítulo 3.2.

Devido ao peso significativo destes elementos, procedeu-se a um posicionamento centrado no protótipo. Isto assegura a estabilidade independentemente das manobras ou movimentos realizados pelo veículo. Como das duas baterias a de 12 V é a mais pesada esta ficou na parte inferior da base. Desta forma, é possível garantir um veículo consistente e equilibrado.

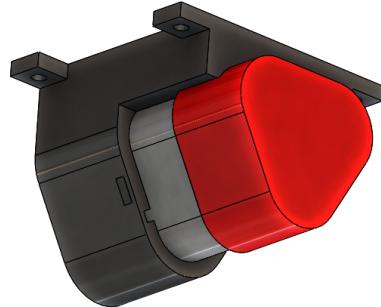


Figura 3.3: Bateria de 12 V e suporte.



Figura 3.4: Bateria de 5 V e suporte.

Microcontroladores

Neste projeto utilizaram-se 2 microcontroladores, o Arduino Uno WiFi Rev 2 e o LattePanda. O arduino é responsável pela aquisição de dados dos sensores, pela análise das informações adquiridas e pelo acionamento dos componentes indicados. Por outro lado, o LattePanda apenas processa a imagem proveniente do sistema de câmara implementado.

Para garantir um bom funcionamento e conectividade dos componentes, optou-se pela colocação dos microcontroladores na parte superior da base. Como a maioria dos equipamentos são colocados na frente do *chassis*, optou-se por também colocar os microcontroladores na parte frontal. Esta abordagem possibilita a utilização de cabos de dimensões reduzidas, contribuindo para uma organização mais eficiente. Essa organização é especialmente útil no caso de surgirem problemas, uma vez que facilita a identificação dos cabos correspondentes a cada equipamento.

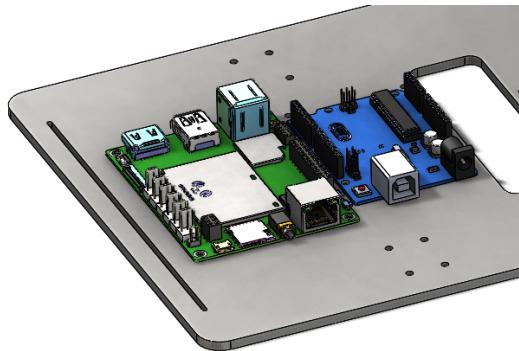


Figura 3.5: Arduino e LattePanda localizados na base de acrílico.

Rodas

Para realizar a movimentação do veículo, são utilizados dois tipos de roda: duas rodas motrizes e uma roda livre de esfera. A escolha da localização da roda livre na parte traseira do veículo pretende proporcionar um maior controle do veículo através da colocação das rodas motrizes na parte frontal do protótipo.

As rodas motrizes estão ligadas aos motores DC referenciados no Capítulo 3.1.1 e encontram-se ilustradas na Figura 3.6



Figura 3.6: Roda Motriz.

Por outro lado, para a roda livre de esfera projetou-se um adaptador que garantisse altura suficiente à traseira do veículo, uma vez que existe uma grande discrepância de diâmetros relativamente aos dois tipos de rodas utilizados, conforme é visível na Figura 3.7.



Figura 3.7: Roda livre de esfera e respetivo suporte.

Sensor infravermelho

Os infravermelhos desempenham um papel fundamental na navegação do veículo ao longo do percurso (Figura 1.1), pois a radiação que estes emitem permite a distinção entre as linhas brancas e as linhas pretas. Optou-se por utilizar as linhas pretas como guias para o carro e para isso são necessários 2 sensores infravermelhos de modo a corrigir a trajetória do carro quando este se desviar. Os motivos que levaram a esta decisão são abordados no Capítulo 4.

Os sensores encontram-se na frente do *chassis* para que a correção da trajetória seja o mais rápido possível. Para facilitar a distinção entre as linhas foram colocados próximos do chão, uma vez que assim se obtém uma diferença superior entre os valores lidos pelo sensor, evitando erros na leitura que prejudiquem o funcionamento do veículo. Na figura 3.8 apresenta-se a ilustração dos infravermelhos e dos respetivos suportes.

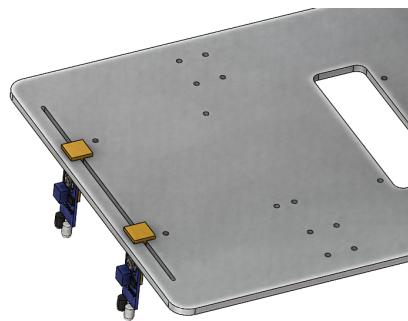


Figura 3.8: Sensores infravermelhos e respetivos suportes.

Ultrassom

O ultrassom desempenha um papel imprescindível no projeto, sendo responsável pela deteção de objetos próximos do veículo durante o seu deslocamento. Uma das principais aplicações ocorre durante o processo de contorno de obstáculo, onde é capaz de determinar o final do mesmo para que o carro regresse às linhas do percurso e continue o seu movimento.

Este equipamento encontra-se estrategicamente localizado na parte frontal do *chassis* do veículo com o objetivo de evitar colisões indesejadas atempadamente. Além disso, o ultrassom trabalha em conjunto com um servomotor que faz o mesmo girar, permitindo um varrimento do espaço em redor do veículo, como é visível na Figura 3.9.

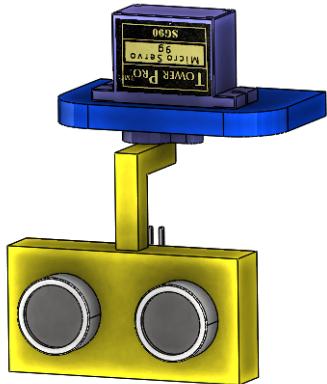


Figura 3.9: Sensor ultrassom e respetivos suportes.

Driver

Os drivers L298N são utilizados como redutores de tensão, uma vez que a bateria de 12 V é a responsável pela alimentação de todos os equipamentos que utilizam 5 V.

Devido à limitação de corrente do driver após a redução, tornou-se necessário adotar uma abordagem com 2 drivers separados para alimentar os equipamentos. Desta forma, um driver foi designado exclusivamente para o eletroíman e o outro foi destinado aos restantes componentes.

De modo a permitir uma melhor distribuição dos cabos, os drivers foram colocados na parte superior do *chassis* junto do furo central onde estes passam.

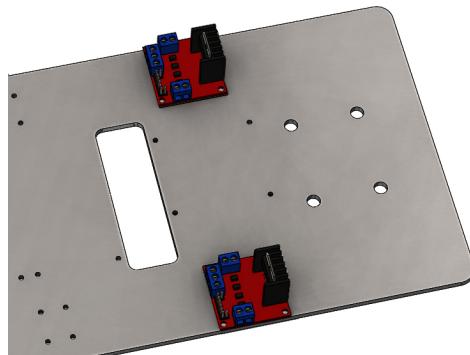


Figura 3.10: Drivers localizados na base de acrílico.

Relé

O relé é utilizado como controlador do eletroíman, isto é, define quando este está ligado ou desligado. Verifica-se esta necessidade porque o eletroíman não se pode controlar através de um sinal e a partir do momento em que recebe energia fica ativo.

De modo a dar liberdade aos cabos quando se move a garra é fundamental que os cabos do eletroíman não fiquem presos noutros cabos ou componentes, por isso o relé deve ficar o mais próximo possível do manipulador. Assim este foi colocado na parte de trás do *chassis*, conforme visível na Figura 3.11, local onde se encontra o manipulador de 3 eixos.

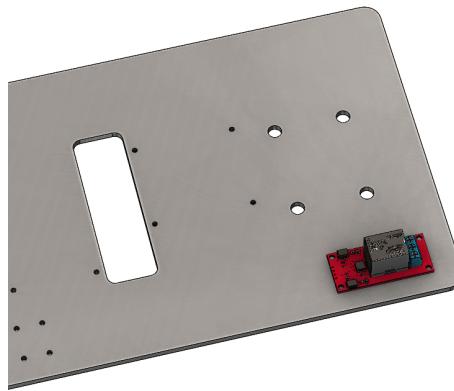


Figura 3.11: Relé localizado na base de acrílico.

Servos

Os servos são utilizados para controlar diversos componentes, nomeadamente os movimentos do manipulador e a direção do ultrassom e da câmara. Uma vez que o braço é um elemento com um peso significativo e apresenta 3 graus de liberdade, foi imprescindível a utilização de 3 servos MG995 180º para permitir o alcance dos objetos pretendidos. Por outro lado, como a câmara e o ultrassom não têm um peso muito significativo utilizaram-se microservos SG90, visto que também permitem rotação 180º e são de menor dimensão que o MG995.

Como o manipulador fica na traseira do veículo, os servos MG995 também se situam na parte de trás do *chassis*, enquanto os servos SG90 se encontram na parte frontal, localização da câmara e do ultrassom. É possível visualizar os microservos SG90 no Capítulo 3.1.1 na secção do sensor de ultrassom, relativamente à ilustração dos servos MG995 deve-se consultar a Figura 3.17.

3.1.2 Esquema elétrico

O esquema elétrico é uma representação gráfica dos componentes do veículo e respetivas ligações, assim este cogita ser uma forma simplificada para a visualização do sistema. A figura seguinte representa o esquema elétrico remetente a este projeto.

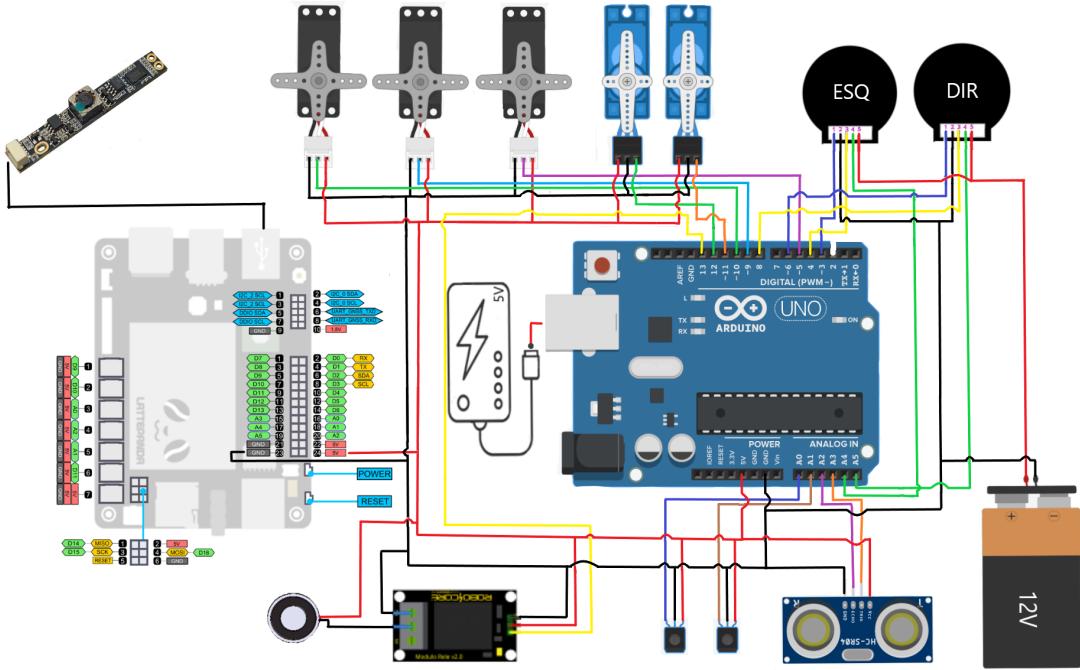


Figura 3.12: Esquema elétrico.

De realçar que os motores têm que ter a porta 1 conectada a entradas PWM para ser possível a alteração da velocidade.

3.2 Baterias e alimentação

Para alimentação dos componentes do veículo utilizou-se uma *powerbank* de 5 V e 5 Ah e uma bateria de 12 V e 2 Ah. Utilizou-se a *powerbank* para alimentar apenas o arduino e o LattePanda de modo a manter os microcontroladores sempre ligados e evitar picos de corrente, uma vez que quando os restantes componentes fossem acionados podia não chegar corrente suficiente. Por isso, para os restantes componentes utilizou-se a bateria de 12 V.

No entanto, apenas os motores necessitam de 12 V. Então utilizaram-se os drivers L298N para realizar a redução de tensão dos 12 V para os 5 V e assim alimentar todos os outros componentes.

Uma vez que não é possível controlar quando o eletroíman se encontra ligado ou desligado, houve a necessidade da utilização um relé para esse efeito.

3.3 Servidor

No intuito de gerar uma *interface* de controlo remoto a partir de um dispositivo móvel, neste caso um *smartphone*, foi necessária a criação de um servidor. Para a criação deste servidor foi utilizada uma biblioteca do arduino IDE, a WiFiNINA. Esta biblioteca é compatível com o Arduino Uno Rev 2 e permite ao Arduino criar a sua própria rede wi-fi ou ligar-se a redes wi-fi existentes. Para este projeto optou-se por ser o arduino a

criar a própria rede já que desta forma não é necessária a existência de uma rede exterior para o carro ser controlado remotamente. Os motivos que levaram a esta metodologia são abordados no Capítulo 4.

Apesar de ser possível a criação da *interface* do controlo remoto diretamente no servidor, decidiu-se que este serviria somente como ponte entre o arduino e o MIT App Inventor, aplicação descrita anteriormente, como é visível na Figura 3.12.

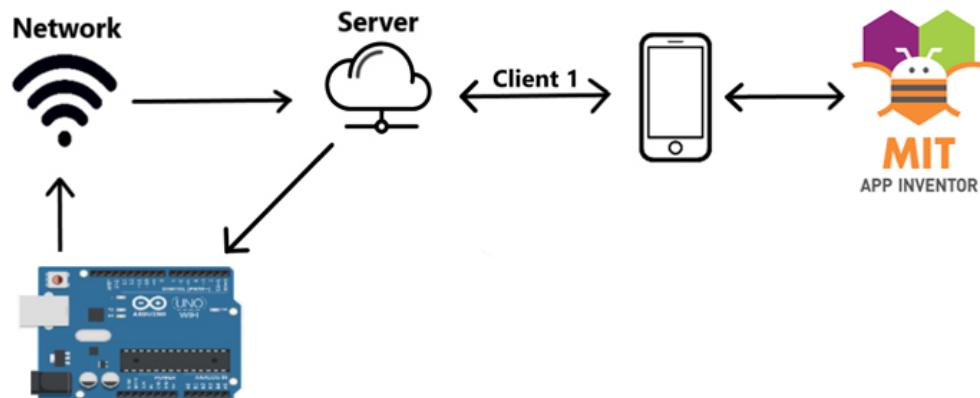


Figura 3.13: Esquema de funcionamento do servidor.

3.4 Modos de controlo

Tendo em conta os objetivos propostos no Capítulo 1.2, surgiu a necessidade de criar dois modos para controlo do carro, o modo de condução manual e o modo de condução autónoma. Para isso criou-se uma *interface* que possibilita essa seleção, como é possível constatar na Figura 3.14. Nesta *interface* também é possível escolher um modo dedicado ao controlo da garra e do eletroíman.

Robochanics

Bem-Vindo

Escolher Modo de Operação:

Modo Manual

Modo Automático

Controlo da Garra

Figura 3.14: Página principal da interface.

De forma a indicar ao programa qual foi o modo selecionado cada botão envia uma mensagem constituída por 2 números e 1 letra, por exemplo, 00M, onde apenas a letra entrega informação sobre o modo em que se está a operar. No entanto, o modo automático (Figura 3.14) apenas é ativo quando é pressionado o botão *Start* representado na Figura 3.16.

No que diz respeitos aos *sliders*, quer do modo manual (Figura 3.15) quer do controlo da garra (Figura 3.18), estes enviam um número entre 10 e 99 que depois é transformado no código para os valores desejados, dependendo da letra que segue no fim da mensagem que determina a gama de valores que o equipamento suporta.

3.5 Controlo Manual

Para o controlo manual do carro pretende-se a execução de diferentes movimentos quando solicitados pela interface apresentada a seguir.



Figura 3.15: Interface Controlo Manual

Esta *interface* contém diferentes tipos de ações, tendo em conta que existem 9 botões e 3 *sliders*. Os botões são remetentes ao tipo de movimento, sendo estes movimentos para a frente, para trás, rotação sobre o próprio eixo e curva com um raio predefinido tanto para trás como para a frente. Apresenta ainda *sliders* que regulam a velocidade, o raio das curvas e a duração do movimento.

Todos os botões têm a letra “B” associada, sendo que são os números que definem o tipo de movimento, os números dos movimentos funcionam como uma matriz 3×3 , constituída pelos valores de 11,12,13,21,...,33. Ao clicar num destes botões este define os valores de direção no código arduino que podem ser 0 ou 1, específico para cada movimento, isto para ambos os motores. De realçar que o botão central, que faz parar o carro, não altera a direção, mas sim a velocidade para 265, valor para a paragem de motores. O *slider* remetente à velocidade tem a letra “V” associada, alterando a

velocidade dos motores. O *slider* remetente ao raio da curva tem a letra “D” associada e apenas influencia as curvas com raio predefinido. O *slider* remetente à duração tem a letra “T” associada e permite movimentos mais ponderados que só funcionam num período predefinido de tempo.

3.6 Condução Autónoma

Na condução autónoma foi proposta a capacidade do veículo seguir linhas brancas, assim como a deteção e desvio de obstáculos. Para cumprir estes requisitos foi necessária uma pesquisa prévia sobre cada um destes desafios.

Para o seguimento das linhas brancas são utilizados os sensores infravermelhos, sendo que numa fase inicial foi necessário tentar perceber quais os valores que estes apresentavam quando postos sobre uma linha branca e uma linha preta. Após algumas alterações e testes, foi possível obter valores que proporcionavam uma programação eficiente.

Através da obtenção dos valores dos infravermelhos passou-se para a escolha da metodologia utilizada para o seguimento de linha. Existem duas formas de obter este efeito. Numa delas, os sensores seguem acima das linhas pretas e ao detetar a linha branca, é alterada a trajetória do carro para retificar a mesma. Por outro lado, uma abordagem diferente, será os sensores irem acima da linha branca e ao detetarem as linhas pretas procederem a uma correção da trajetória. Ao testar as duas metodologias verificou-se que colocar os sensores nas linhas pretas era a forma mais eficaz para manter o carro a seguir a linha branca, as informações que levaram a esta escolha encontram-se no Capítulo 4.

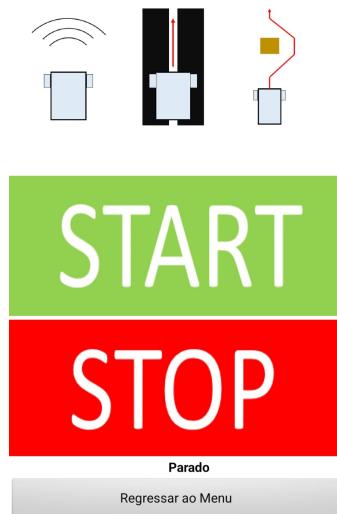


Figura 3.16: Interface Condução Autónoma.

Além da capacidade de seguir linhas, também é objetivo do projeto a deteção e contorno de objetos encontrados na trajetória do veículo. Desse modo, foi desenvolvido um

sistema que além de detetar um objeto, o contorna e determina as dimensões do mesmo, regressando à linha posteriormente.

Para que a deteção seja possível, quando o veículo se encontra em modo automático, recebe constantemente valores de distância do ultrassom. Quando um valor inferior a 10 cm é recebido, o veículo para de imediato, recua um pouco e identifica para que lado se deve mover. O servomotor que segura o ultrassom vira para a direita e para a esquerda, e mede as distâncias, guardando-as em variáveis. Os valores destas variáveis são então comparados e o veículo determina para que direção se deve movimentar.

No processo de desvio do obstáculo, o servomotor que aloja o ultrassom vira para o mesmo e procede-se ao avanço do veículo e simultaneamente ao registo da distância até ao obstáculo. Quando esta se torna subitamente superior, significa que o obstáculo termina, e que o veículo deve procurar a linha.

Por fim, enquanto o veículo se move em direção à linha, recebe constantemente os valores dos sensores de infravermelho, e assim que detetar a linha branca, corrige a sua trajetória e prossegue no modo automático.

3.7 Manipulador de 3 eixos

No que toca à função de recolha de objetos metálicos, a mesma é desempenhada pelo conjunto de um manipulador de 3 eixos com um eletroíman, este é movimentado por 3 servomotores. O conjunto, presente na traseira do protótipo, é acompanhado de um recipiente que permite o devido transporte do objeto metálico. A localização destes é na traseira do protótipo e deve-se ao facto do manipulador necessitar de espaço para se movimentar livremente, sendo que também apresenta grande influência no centro de massa do veículo.

O manipulador foi adaptado de um protótipo desenvolvido no âmbito desta mesma unidade curricular no ano anterior (2022). O processo de adoção envolveu o desenvolvimento e impressão de um adaptador que permitisse a correta utilização do conjunto. Os motivos que levaram ao aproveitamento do mecanismo anteriormente desenvolvido foram diversos e fundamentais para a tomada de decisão. Primeiramente, destaca-se o fator de economia de tempo, uma vez que ao utilizar o mecanismo existente se pouparam esforços relativamente ao desenvolvimento de uma solução completamente nova. É também relevante referir o ciclo de vida do projeto, uma vez que ao aproveitar o mecanismo existente, foi possível reduzir o impacto ambiental e otimizar os recursos ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Outro aspeto relevante deve-se ao facto de o mecanismo já estar previamente preparado para a integração dos três servos motores necessários, o que facilitou a sua incorporação no sistema, uma vez que o objetivo estabelecido era a utilização de 3 eixos no manipulador.



Figura 3.17: Manipulador de 3 eixos com adaptador.

3.7.1 Interface de controlo do manipulador

O controlo da garra executa-se através da interface apresentada na Figura 3.18. Uma vez que o manipulador não apresenta posições pré-definidas, optou-se pela utilização de *sliders* que permitam uma grande variedade de movimentos.

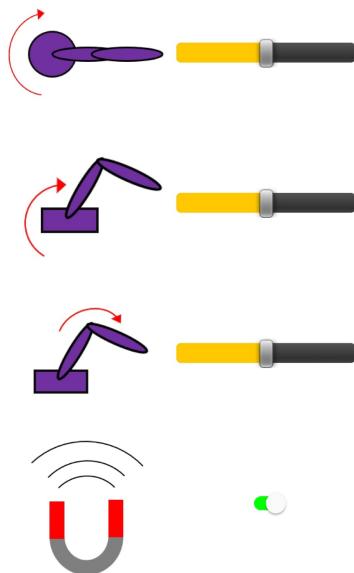


Figura 3.18: Interface de controlo do manipulador.

A utilização desta configuração revelou-se eficaz, uma vez que permite um controlo individual de cada servo motor, possibilitando ajustes precisos e independentes. Verifica-se que esta abordagem possibilita uma melhor adaptação às diferentes condições de recolha de objeto metálico, acabando por se adaptar facilmente a mudanças de cenário.

3.8 Protótipo real e modelação

As seguintes figuras pretendem ilustrar o protótipo modelado e o veículo real, onde são visíveis algumas diferenças. A maior discrepância é relativamente à carroçaria, que não foi possível realizar, a sua modelação encontra-se na Figura 3.19. Por outro lado, os restantes componentes encontram-se conforme o projetado, sendo que se verifica que a modelação corresponde, em grande parte, à realidade.



Figura 3.19: Modelação do veículo.

A Figura 3.20 é a representação real do protótipo. Este resultou de todo o processo envolvido, que incluiu uma extensa fase de testes abordada no Capítulo 4. É possível observar algumas soluções aplicadas para a resolução de problemas numa fase final do trabalho, nomeadamente no apoio da câmara, levando assim a diferenças que não estão planeadas na fase de modelação. Além disso, também os cabos se encontram à superfície e não organizados, não apresentando a melhor configuração possível, o que por vezes dificulta o acesso e manutenção.



Figura 3.20: Protótipo real do veículo.

Capítulo 4

Testes e resultados

Este capítulo apresenta uma breve explicação da rotina de testes realizados, dando a conhecer alguns exemplos de causa-efeito que a fase de testes implicou ao longo do projeto.

A fase de testes desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do protótipo, por ser nesse momento que ocorre uma análise criteriosa do seu desempenho e comportamento à medida que vão sendo introduzidas as alterações. Todo o processo de testes é iterativo, o que significa que são realizadas alterações com base nos resultados obtidos. Além disso, é uma fase extensa, uma vez que são necessários diversos testes para a exata compreensão do comportamento do protótipo a cada atualização. À medida que o veículo foi construído, foram realizados testes por categoria, sendo que abaixo se encontra o registo daqueles que provocaram maior efeito no progresso do projeto.

Durante a fase inicial do projeto, foi desenvolvido um servidor utilizando uma rede wi-fi existente. Embora essa abordagem tenha sido testada e funcionado com a maioria das redes, constatou-se que não era viável no local onde a pista está localizada, devido à presença de um protocolo de acesso diferente daqueles utilizados nos testes anteriores. Para solucionar esse problema, foi decidido que o próprio arduino criaria uma rede wi-fi, onde o servidor seria hospedado, permitindo assim uma conexão estável e adequada ao ambiente específico do projeto.

Ao nível de testes do controlo manual, apresentava-se inicialmente outra configuração para a roda não motriz do veículo. A configuração apresentada na Figura 4.1 foi a proposta inicial para o projeto, uma roda louca de 64 mm de diâmetro.

A configuração aqui apresentada levou a desafios significativos que se revelaram como um obstáculo para a continuidade do projeto. O problema encontrava-se na roda livre, que não girava suavemente em torno do seu eixo direcional, resultando em deficiências durante as mudanças de direção. Verificava-se que após uma mudança de direção o protótipo já não conseguia voltar a uma trajetória reta. Essa limitação comprometia a funcionalidade e a eficiência do sistema na totalidade, desta forma procedeu-se à mudança da roda louca para a apresentada na Figura 4.2.



Figura 4.1: Roda louca 64 mm.



Figura 4.2: Roda louca 39 mm com adaptador projetado.

Esta configuração revelou-se capaz de corrigir os problemas apresentados pela roda anterior, visto que apresentava movimentos de rotação direcional mais suaves e garantia uma melhor estabilidade ao veículo.

Na fase de desenvolvimento dos infravermelhos para o seguimento das linhas brancas, num teste inicial aos valores obtidos pelos infravermelhos detetou-se uma diferença nos valores pouco clara entre as linhas brancas e o fundo preto, o que impossibilita a obtenção de uma programação eficiente. Para otimizar os parâmetros mencionados anteriormente, foi necessário realizar ajustes na proximidade dos sensores relativamente ao solo. Com esse objetivo, os suportes dos sensores infravermelhos foram aumentados em 20 milímetros, e uma nova fita branca foi instalada no circuito para substituir a anterior.

Após a colocação da nova fita foram realizados testes para avaliar o desempenho do veículo ao seguir tanto as linhas brancas quanto as linhas pretas, com o objetivo de determinar qual comportamento resultava num seguimento mais preciso e consistente.

Durante os testes, constatou-se que, em certas ocasiões, quando o carro seguia as linhas brancas, ocorria uma falha na correção da trajetória, levando-o a parar ao detetar as linhas pretas em ambos os sensores. Tal situação acontecia devido à estreiteza da linha branca, o que resultava numa resposta tardia na alteração dos parâmetros dos motores para corrigir a trajetória atempadamente.

Deste modo, optou-se por utilizar as linhas pretas para a guia da trajetória, uma vez que o veículo apresenta uma janela temporal superior para efetuar correções de posição.

Já numa fase de testes mais avançada, testou-se a capacidade de deteção e desvio de obstáculo por parte do veículo. Aqui verificou-se, após várias experiências, que existia um problema de contorno de obstáculo.

Ao percorrer a lateral de um obstáculo, o veículo necessita de realizar uma curva devido ao seu comprimento, o que impossibilita a capacidade de efetuar uma rotação completa em torno do seu próprio eixo (devido às barreiras presentes no circuito). Nesta situação, constatou-se que o sensor de ultrassom não conseguia enviar um sinal perpendicular ao obstáculo, resultando numa reflexão do som para fora do alcance do recetor do ultrassom. Tal interferência comprometia a leitura correta da distância entre o veículo e o objeto, impossibilitando uma avaliação precisa da proximidade do carro relativamente ao obstáculo. De modo a corrigir esta falha foram apresentadas várias propostas de solução, a primeira consistia na programação da posição do ultrassom para esta estar sempre correta relativamente ao obstáculo e a segunda hipótese passava pelo ajuste da posição do carro em função da parede lateral da pista.

No entanto, estas soluções apresentavam outro problema uma vez que mesmo controlando a posição do carro não era possível controlar os movimentos da roda louca, que influenciava a trajetória do carro significativamente. Então, a alternativa passava por, mais uma vez, alterar a roda louca para uma do tipo esfera livre. Desta forma, após avaliadas e consideradas todas as opções discutidas, procedeu-se à substituição da roda louca. Esta escolha permite economizar tempo e a simplificação do processo de programação, conduzindo assim a uma solução mais rápida e eficaz.



Figura 4.3: Roda livre com esfera.

A nova solução implementada apresentou condições para o seguimento do projeto. Permitiu que existisse uma maior consistência de resultados positivos e acabou por não se alterar novamente.

Numa última fase de testes verificou-se que, eventualmente, existiam falhas na tração das rodas motoras do veículo, o que dificultava alguns dos movimentos. Primeiramente, procedeu-se à limpeza das rodas com fita adesiva à medida que se realizavam os testes, o que não solucionou o problema na totalidade. Desta forma, procedeu-se à adição de pesos na parte frontal do protótipo com o objetivo de aproximar o centro de massa para a zona onde se encontram as rodas motoras. Após a aplicação desta solução verificou-se um aumento da área de contacto entre as rodas e o solo o que levou à mitigação das falhas de tração.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 5

Conclusões e trabalho futuro

Esta secção apresenta as conclusões finais onde são realizados comentários ao trabalho desenvolvido e apresentadas as conclusões retiradas. Apresentam-se ainda propostas para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido ao longo do projeto culminou nos resultados anteriormente apresentados e respeitou com sucesso os objetivos estabelecidos pela unidade curricular.

Os resultados obtidos foram positivos, uma vez que todos os objetivos definidos para o projeto foram alcançados com sucesso. Além disso, um aspeto adicional e promissor foi a implementação de um manipulador com 3 eixos, em vez dos dois inicialmente planeados. Esta escolha proporcionou maior flexibilidade e ampliou as capacidades do sistema, agregando valor ao protótipo.

O planeamento e calendarização adotados permitiram uma abordagem estruturada e eficiente no desenvolvimento do projeto. Através da metodologia iterativa, foi possível realizar ajustes e correções com base nos resultados dos testes, garantindo o alcance dos objetivos estabelecidos. O trabalho em equipa, a gestão adequada dos recursos e o cumprimento dos prazos foram elementos-chave para o sucesso do projeto. Apesar da metodologia aplicada e do cumprimento dos objetivos não se realizou a carroçaria, sendo que, embora não seja uma falha crítica foi algo internamente planeado.

A fase de testes desempenhou um papel crucial no desenvolvimento do projeto, proporcionando uma oportunidade para avaliar e aprimorar o desempenho do protótipo. Ao longo desta etapa, foi executada uma abordagem por módulos, ou seja, executaram-se testes por diferentes tipos de sistema. Esta abordagem iterativa permitiu identificar e corrigir erros, falhas e limitações, garantindo assim uma correta seleção de parâmetros a introduzir relativamente a servomotores e sensores.

Relativamente aos dispositivos de controlo considera-se, com base nos testes realizados, que o sistema operativo IOS apresenta não só uma ligação mais consistente ao

protótipo, através da interface desenvolvida, como também tempos de resposta inferiores. Desta forma, concluiu-se que é preferível a utilização de IOS relativamente ao sistema de Android para se obter uma experiência mais fluente.

Em suma, o desenvolvimento deste projeto foi enriquecedor a nível académico, permitindo aos elementos do grupo aprimorar e desenvolver metodologias de trabalho que os prepara também profissionalmente para o mundo do trabalho.

5.2 Trabalho futuro

Para trabalhos futuros relacionados com este projeto, a prioridade passa pela implementação de um sistema de malha fechada para controlo da velocidade. Esta metodologia irá permitir que o veículo apresente efetivamente a velocidade desejada. Além disso, a implementação de um sistema de movimentação suave mediante funções sinusoidais para que não existissem danos a longo prazo nos servomotores. De modo a tornar estas implementações mais eficazes deve-se optar pela utilização de 4 rodas motrizes em vez de apenas 2, visto que esta configuração permite um melhor controlo a nível de movimentos do veículo. Também a implementação de uma carroçaria e a uma correta arrumação de cabos permitiria mais fácil manutenção do veículo por meio de um acesso organizado.

Referências

- [1] Damond Goodwin. *The Evolution of Autonomous Mobile Robots*. Rel. téc. 83702. Headquarters 850 W Main St, Boise, US: Control Automation, set. de 2020.
- [2] John Evans et al. «HelpMate™: A robotic materials transport system». Em: *Robotics and Autonomous Systems* 5.3 (1989), pp. 251–256. ISSN: 0921-8890. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8890\(89\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0921-8890(89)90049-3). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0921889089900493>.
- [3] Jacob Ramirez. *DHL Supply Chain to Install 1,000 Warehouse Robots From Locus Robotics*. Rel. téc. 83702. Headquarters 850 W Main St, Boise, US: Control Automation, mar. de 2020.