



João Miguel Grou Caceiro

Robô autónomo estafeta e Guia
Dissertação de Mestrado

Setembro 2014



Universidade de Coimbra

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologias
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Robô autónomo estafeta e Guia

João Miguel Grou Caceiro

Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

23 de Setembro de 2014



Pesquisas desenvolvidas sob a supervisão de

Prof. Doutor António Paulo Mendes Breda Dias Coimbra

Prof. Doutor Manuel Marques Crisóstomo

Prof. Doutor Mateus Daniel Almeida Mendes

Júri da dissertação constituído por

Prof. Doutor Rui Paulo Pinto da Rocha (Presidente do Júri)

Prof. Doutor Manuel Marques Crisóstomo (Orientador)

Prof. Doutor Paulo Jorge Carvalho Menezes (Vogal)

Trabalho desenvolvido no Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra.

Agradecimentos

Começo por agradecer aos meus pais e à minha irmã por todo o apoio e compreensão prestados ao longo da minha formação académica.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores Paulo Coimbra, Manuel Crisóstomo e Mateus Mendes pela sua orientação, conhecimento transmitido e pelas sugestões e correções apresentadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Ao meu colega de curso André Brandão pela ajuda e troca de ideias, assim como a todos os amigos que me acompanharam ao longo destes últimos anos.

Agradeço por fim à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra por toda a logística necessária para a minha formação académica e desenvolvimento desta dissertação.

Resumo

Nos últimos anos, com o aparecimento de novas plataformas digitais como, tablets e smartphones, a interface gráfica tem vindo a ser cada vez mais sofisticada e de uso fácil. Das várias abordagens que se podem ter para desenvolver uma interface, nesta tese, foi escolhida a tecnologia WEB, pois é transversal a várias plataformas e permite uma comunicação entre sistemas bastante ampla.

Nesta tese é feita a implementação de uma interface para gerir uma base de dados e controlar um robô autónomo guia e estafeta, com recurso a uma navegação autónoma baseada em visão usando a SDM, implementada numa GPU, que guarda as imagens capturadas ao longo de um percurso ensinado ao robô por um operador humano. O robô é capaz de navegar autonomamente num ambiente real e desviar-se de obstáculos caso eles existam. Na gestão da base de dados é possível gerir utilizadores, tarefas e missões, executadas pelo robô.

É também objetivo desta tese projetar e desenvolver uma estrutura que atribua um aspeto mais físico e próximo de um cicerone ao robô, assim como a introdução de um tablet, fixo ao corpo do robô, para enviar instruções de comando. Facilmente se envia estas instruções ao robô através do desenvolvimento um sistema de comunicação via socket, que permite enviar e receber controlos através de uma ligação wi-fi, assim o robô pode ser controlado diretamente do seu tablet ou futuramente à distância.

Todas estas características permitem implementar várias tarefas, sejam elas de guia ou estafeta, no robô de uma forma fácil e apelativa para utilizadores comuns.

O conjunto de todas estas aplicações e tarefas desenvolvidas e testadas no edifício do DEEC, permite que o robô percorra autonomamente percursos de guia e que entregue recados ou objetos dentro de edifícios.

Palavras chave: Robótica Móvel, Visão, Interface, Base de dados, WEB

Abstract

In recent years, with the emergence of new digital platform as tablets and smartphones, the graphical interface has become increasingly sophisticated and easy to use. The various approach that may have to develop an interface, this thesis was chosen WEB technology, it is cross-platform and allows the communication between fairly wide systems.

In this thesis the implementation of an interface is designed to manage a database and control an autonomous robot guide and courier, using a vision-based autonomous navigation using SDM, implemented on GPU, which saves the captured images to along a route taught to the robot by a human operator. The robot is able to navigate autonomously in a real environment and stray away from obstacles if they exist. Management database is possible to manage users, tasks and missions performed by the robot.

It is also an objective of this thesis project and develop a structure that assigns a more physical and near a cicerone to the robot aspect, as well as the introduction of a tablet, fixed to the robot body, to send command instructions. Easily sends these instructions to the robot by developing a system of communication via socket, allowing you to send and receive checks through a wi-fi connection, so the robot can be controlled directly from your tablet or distant future.

All these characteristics allow implement various tasks, be they guide or messenger, the robot in an easy and appealing way for ordinary users.

The set of all these applications and developed and tested in including DEEC, tasks allows the robot to autonomously guide and scroll pathways that delivers messages or objects inside buildings.

Keywords: Mobile Robotics, Vision, Interface, Database, WEB

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Acrónimos	viii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Estrutura da dissertação	2
2 Robôs autónomos - estado da arte	3
2.1 Robô autónomo Pepper	4
2.2 Robô autónomo REEM	5
3 Hardware	7
3.1 Robot X80 Pro	7
3.2 Computador portátil	8
3.3 Tablet	9
3.4 Corpo do robô	9
3.5 Comparação das características principais	12
4 Software	13
5 Implementação e Resultados	18
5.1 Gestão da base de dados	18
5.2 Ensinar um percurso - Condução	20

5.3	Tarefa - Guia	23
5.4	Tarefa - Guia Turístico	27
5.5	Tarefa - Dar recado	27
5.6	Tarefa - Entregar Objetos	28
6	Conclusões e trabalho futuro	31
6.1	Conclusões	31
6.2	Trabalho futuro	32
A	Estrutura da Plataforma	34
A.1	Suporte do computador portátil	34
A.2	Suporte do tablet	36
A.2.1	Coluna de elevação	36
A.2.2	Apoio	37
B	Opções avançadas da base de dados	38
B.1	Ecrã - Registrar um novo utilizador	38
B.2	Ecrã - Eliminar um utilizador	39
B.3	Ecrã - Adicionar ou retirar privilégios a um utilizador	40
B.4	Ecrã - Adicionar um novo local	41
B.5	Ecrã - Eliminar um local	41

Lista de Figuras

2.1	Pepper, robô pessoal da Aldebaran. Imagens retiradas de [5].	4
2.2	REEM, robô guia da PAL Robotics. Imagens retiradas de [6].	5
3.1	Robô utilizado, X80Pro - Dr Robot. Imagens retiradas de [7].	8
3.2	Portátil - Asus K55VJ. Imagem retirada de [2].	8
3.3	Tablet - DENVER TAD-70112BLACK. Imagem retirada de [4].	9
3.4	Suporte construído para apoiar o tablet.	10
3.5	Fecho construído para fixar a coluna do robot.	10
3.6	Estrutura construída para o corpo do robô.	11
4.1	Diagrama da base de dados implementada.	14
4.2	Exemplos da interface desenvolvida.	15
4.3	Exemplos do protocolo de comunicação implementado.	16
4.4	Arquitetura do software desenvolvido.	17
5.1	Interface - sistema de login.	18
5.2	Interface - ecrã inicial das tarefas do robô.	19
5.3	Interface - opções avançadas.	20
5.4	Interface - Primeira etapa para ensinar um novo percurso.	21
5.5	Interface - Segunda etapa para ensinar um novo percurso.	21
5.6	Interface - Terceira etapa para ensinar um novo percurso.	22
5.7	Informações apresentadas durante a tarefa guia.	24
5.8	Relação entre o percurso ensinado e o navegado autonomamente, primeira parte.	25
5.9	Relação entre o percurso ensinado e o navegado autonomamente, segunda parte.	26
5.10	Relação entre o local de paragem do percurso ensinado e o navegado autonomamente.	27
5.11	Exemplo de como enviar um recado com recurso ao robô.	28
5.12	Exemplo de como o robô informa que trás um recado.	28

5.13	Exemplo do robô a transportar um objeto.	29
5.14	Exemplo de como enviar um recado com recurso ao robô.	29
5.15	Exemplo de como o robô informa que trás um recado.	30
A.1	Desenho e dimensões dos apoios do computador portátil.	34
A.2	Desenho e dimensões da união dos apoios do computador portátil.	34
A.3	Desenho e dimensões da base de apoio da estrutura do tablet.	35
A.4	Desenho e dimensões das abas da prateleira.	35
A.5	Desenho e dimensões da coluna de elevação do suporte do tablet.	36
A.6	Desenho e dimensões do apoio do tablet	37
B.1	Ecrã que permite registar um novo utilizador.	38
B.2	Ecrã que permite eliminar um utilizador.	39
B.3	Ecrã que permite adicionar ou retirar privilégios a um utilizador.	40
B.4	Ecrã que permite registar um novo local.	41
B.5	Ecrã que permite eliminar um local.	42

Lista de Acrónimos

SDM	Sparse Distributed Memory
GPU	Graphics Processing Unit
WEB (www)	World Wide Web
GUI	Graphical User Interface
PHP	Hypertext Preprocessor
HTML	HyperText Markup Language

Capítulo 1

Introdução

A robótica é uma área de investigação de grande abrangência, e muito promissora. Os avanços têm sido muito significativos, e desde há muito que se questiona sobre quando é que a inteligência artificial poderá ser comparada à inteligência humana. Existem robôs para as mais variadas aplicações, desde os mono tarefa aos multi tarefa, dos industriais aos domésticos, passando pelos militares e laboratoriais.

Um robô autónomo é um sistema mecânico versátil que perscruta de forma autónoma o seu ambiente e interage com ele através dos atuadores e sensores. As tarefas executadas no seu espaço de trabalho são controladas por computador, sendo a sua principal característica a conexão inteligente entre a perceção e a ação.

Pesquisadores em robótica têm concentrado esforços na construção de robôs autónomos móveis, introduzindo as capacidades de mobilidade e autonomia para reagir adequadamente ao ambiente, o que abre um vasto campo de novas aplicações, como por exemplo, robôs cicerones, para interação em ambientes feitos para uso humano.

Este trabalho visa seguir o trabalho já desenvolvido anteriormente pelo André Brandão [3], onde implementou uma Memória Esparsa Distribuída (SDM) num robô móvel. Visa também desenvolver uma estrutura (corpo do robô) que atribui um aspeto mais real e próximo de um cicerone ao robô, assim com uma interface que permite ao utilizador comum manusear e interagir mais facilmente, podendo dar ordem para execução de várias tarefas, de uma forma muito simples e fácil.

1.1 Objetivos

O principal objetivo desta tese foi desenvolver software para atribuir a um robô móvel a capacidade de executar várias tarefas, selecionadas pelo utilizador, de forma autónoma.

Para isso foi desenvolvida uma interface gráfica, a fim de ser mais fácil dar instruções ao robô das tarefas a executar. Assim, o robô fica apto a realizar tarefas como guia, entrega de mensagens ou objetos.

Estas tarefas uma vez selecionadas, serão, com base no sistema de navegação autónoma baseado em visão que usa uma SDM implementada numa GPU [1], executadas de forma autónoma.

A principal inovação desta tese é o facto da interface ser baseada em tecnologia WEB, que em conjunto com um protocolo de comunicação via sockets, permite uma utilização multi plataforma (computador, tablet, smartphone), permitindo também monitorizar ou usar o robô à distância e multi-utilizador, podem estar vários utilizadores a aceder, embora apenas 1 seja autorizado a controlar o robô.

Neste caso o foco será controlar o robô através de um tablet (secção 3.3), que está fixo ao corpo do robô (secção 3.4), permitido aos utilizadores comuns uma fácil utilização e interação com o robô. O corpo do robô também foi projetado e construído no âmbito desta tese, a fim de atribuir ao robô um aspeto mais próximo de um cicerone.

1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é apresentada uma breve introdução ao tema proposto para a tese e às principais tecnologias usadas.

No segundo capítulo é descrito brevemente o estado da arte ao nível de robôs autónomos.

No terceiro e quarto capítulo, é apresentado e descrito todo o hardware e software desenvolvido para a realização desta tese.

O capítulo cinco apresenta a implementação prática desenvolvida neste trabalho para a navegação de um robô autónomo estafeta e Guia.

As conclusões da dissertação e as sugestões para trabalho futuro, são apresentadas no sexto e último capítulo.

Capítulo 2

Robôs autônomos - estado da arte

Este capítulo apresenta de forma sucinta algumas abordagens relevantes para esta dissertação.

Robôs autônomos geralmente são objeto de grande admiração, dada a sua "inteligência" para tomar decisões de maneira independente. No entanto, mesmo com toda a tecnologia existente, ainda apresentam muitas limitações quanto à sua capacidade de navegação.

O estudo e o desenvolvimento de um projeto para um robô autônomo pode estar ligado a várias aplicações práticas o que origina grandes desafios, visto que as dificuldades podem ser muitas, dependendo do tipo de ambiente no qual o robô se vai movimentar. Assim, muitos mecanismos para o controle dos robôs móveis têm sido utilizados, como por exemplo sonares, lasers e visão.

Para um robô autônomo associar o seu comportamento a um ambiente é necessário que ele saiba onde está e como navegar de um ponto ao outro. Um robô autônomo pode realizar os objetivos desejados em ambientes não estruturados sem a ajuda humana, para tal tem que possuir a habilidade de:

- Receber informações do seu ambiente;
- Deslocar-se do ponto A ao ponto B, sem assistência de navegação humana;
- Evitar situações que são perigosas para as pessoas;
- Adquirir conhecimentos e memorizá-los.

De seguida são apresentados dois robôs móveis, o Pepper [5] e o REEM [6], baseados em navegação autônoma, que fazem parte dos mais recentes desenvolvimento na área dos robôs móveis autônomos. É também apresentada uma breve comparação das características entre estes dois robôs e o robô desenvolvido no âmbito desta tese.

2.1 Robô autônomo Pepper

As empresas SoftBank Grupo Softbank Mobile Corp ("SoftBank Mobile"), operadora móvel líder do Japão, e Aldebaran Robotics SAS ("Aldebaran"), líder mundial em robótica humanóide, desenvolveram em conjunto o "Pepper"[5], o primeiro robô pessoal do mundo que pode ler emoções. Pepper, que incorpora várias tecnologias e recursos, estará disponível comercialmente no Japão a partir de fevereiro de 2015.

O Pepper, mostrado na *figura 2.1*, é o primeiro robô humanóide projetado para viver com os humanos. É um robô social, capaz de conversar com as pessoas, reconhecer e reagir a emoções, mover-se e "viver" de forma autônoma.

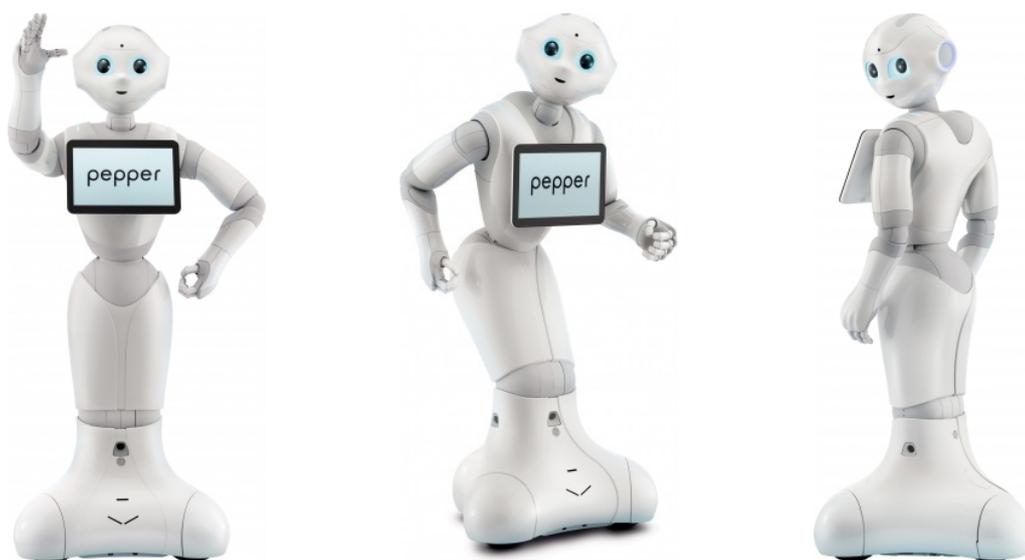


Figura 2.1: Pepper, robô pessoal da Aldebaran. Imagens retiradas de [5].

Através de seus inúmeros sensores, Pepper é capaz de detetar emoções e escolher a forma ideal para comunicar, podendo recorrer à Internet para encontrar informações de modo a ampliar o seu conhecimento.

Este robô possui uma câmara 3D que lhe permite perceber o que se passa à sua volta, possui também um sistema de ultra-som usado para evitar os obstáculos e se movimentar com segurança. Pepper também tem sensores táteis para que ele possa sentir o toque e reagir em conformidade. É capaz de verificar a sua temperatura interna e gerir a sua bateria.

Além disso, ainda possui um tablet situado no seu peito, onde ele mostra as suas "emoções" que estão a acontecer no seu mundo interior.

As principais características do robô Pepper são:

- Tem uma altura de 120cm e pesa 28Kg;

- 3 rodas omnidirecionais lhe permitem mover-se livremente;
- 2 câmaras RGB, 2 sonares e 6 sensores laser;
- 1 câmara 3D, com um alcance de 3 metros;
- Um ecrã táctil de 10,1 polegadas;
- Uma bateria que lhe permite uma autonomia de aproximadamente 12 horas;
- Possui ligação a uma rede Wireless e também Ethernet;
- Desloca-se a uma velocidade de aproximadamente 3km/h;

2.2 Robô autónomo REEM

O REEM [6], mostrado na *figura 2.1*, é um robô humanóide guia, do tamanho de uma pessoa comum, desenvolvido pela empresa espanhola, PAL Robotics. Este robô comporta-se essencialmente como um guia, podendo executar tarefas como rececionista, entreter e cumprimentar as pessoas, fornecer informações dinâmicas e até mesmo fazer apresentações e discursos em várias línguas.



Figura 2.2: REEM, robô guia da PAL Robotics. Imagens retiradas de [6].

O REEM pode-se movimentar em ambientes lotados de pessoas ou objetos, por exemplo, dentro de casa. O robô foi desenvolvido para navegar de forma autónoma para o seu destino previsto, para isso recorre à sua localização através de mapas. Está também programado para

evitar e desviar-se de obstáculos, assim como encontrar o caminho mais curto do percurso que está a executar.

Para se movimentar, também pode ser tele-operado através de um tablet com sistema android.

O REEM tem incorporado, no seu corpo, um tablet que oferece ao utilizador aplicações interativas únicas. Tem ainda a particularidade de entender Inglês e Russo, e poder falar nove línguas diferentes, podendo ainda aprender mais idiomas, permitindo assim falar e ajudar as pessoas a encontrar um lugar, por exemplo.

Alguns exemplos de aplicação do REEM podem ser como rececionista, guia em exposições, aeroportos, museus, hospitais, ou como vigilante.

As principais características do robô REEM são:

- Tem uma altura de 170cm e pesa 100Kg, podendo transportar até 30kg adicionais;
- 2 rodas motrizes que lhe permitem uma condução diferencial;
- 3 câmaras RGB, 16 sonares, 2 lasers e 3 sensores de infravermelho;
- Um ecrã táctil de 12,1 polegadas;
- Uma bateria que lhe permite uma autonomia de aproximadamente 8 horas;
- Possui ligação a uma rede Wireless, Ethernet e também 3G;
- Desloca-se a uma velocidade de aproximadamente 4km/h;

Capítulo 3

Hardware

Neste capítulo são descritas as principais características do hardware utilizado, um robô X80Pro controlado por um computador portátil, ao qual pode ser conectado um tablet. São também descritas as características do hardware desenvolvido, neste caso, uma estrutura física (corpo do robô) para suporte do portátil e do tablet, a fim de tornar o robô mais fácil de usar e com um aspeto visual mais apelativo.

3.1 Robot X80 Pro

Na implementação desta tese foi utilizado um robô X80Pro [7], mostrado na *figura 3.1*, que é uma plataforma de condução diferencial, com duas rodas motrizes de 18cm de diâmetro, atuadas cada uma por um motor DC de 12V. Para dar estabilidade a plataforma também é equipada com uma roda castor, aplicada na traseira.

O robô tem uma altura de 25,5cm, pesa cerca de 3,5 kg e pode suportar uma carga adicional de 15 kg.

O X80Pro está equipado com uma bateria de 7,2 Volt com capacidade de 3700 mAh, que permite uma autonomia de 3 horas. Ao nível da comunicação, permite comunicação através de uma porta série, assim como, uma ligação WiFi (802.11g).

O robô tem acoplada uma câmara de vídeo, que permite capturar imagens, até um máximo de 15 por segundo, com resolução 176x144. E em relação aos sensores para deteção de obstáculos, tem 6 sensores de ultra-sons e 7 sensores de infravermelhos.



Figura 3.1: Robô utilizado, X80Pro - Dr Robot. Imagens retiradas de [7].

3.2 Computador portátil

O robô transporta um portátil ASUS K55VJ [2], mostrado na *figura 3.2*, com um processador Intel Core i7 a 2.40 Ghz, 6 Gb de memória RAM e uma GPU NVIDIA GeForce GT 635M de 2 Gb com 96 CUDA cores, que irá realizar todo o processamento necessário para o funcionamento do robô.

O computador corre o sistema operativo Windows 7, e permite as ligações através de uma porta série (RS 232) e também WiFi (802.11 b/g/n).

O computador pesa cerca de 2,52 kg, com bateria de 6 células, e tem uma autonomia para 2 horas em pleno funcionamento.



Figura 3.2: Portátil - Asus K55VJ. Imagem retirada de [2].

3.3 Tablet

Para facilitar a interação dos utilizadores, foi adicionado à estrutura do corpo do robô um tablet [4], mostrado na *figura 3.3*.

Este tablet da marca Denver possui um ecrã de 7 polegadas, com uma resolução de 800x480 pixels. Tem como principais características um processador dual-core a 1.3 GHz, 512 MB de memória RAM e 8 GB de armazenamento interno. Possui uma bateria com a capacidade de 2400 mAh, o que lhe permite uma autonomia de 3 horas.

Possibilita também conexões Wi-fi 802.11 b/g/n, essencial para a conexão com o computador portátil que controla o robô.



Figura 3.3: Tablet - DENVER TAD-70112BLACK. Imagem retirada de [4].

3.4 Corpo do robô

Um dos objetivos desta tese foi o de construir um corpo que tornasse o aspeto do robô o mais parecida possível com um cicerone, ou seja, como um guia turístico, uma vez que a sua principal função será guiar visitantes/turistas por edifícios, museus, galerias e similares. Para isso foi então desenhada uma estrutura física que tornasse mais intuitivo para os visitantes de que se trata de um guia que eles podem usufruir.

A estrutura do corpo do robô está então dividida em duas partes, o suporte para acomodar o computador portátil que controla o robô, e o suporte para o tablet (com possibilidade de dois) que servirá de interface aos utilizadores. O suporte para o tablet tem uma altura de 80cm aproximadamente, onde no topo possui um encaixe onde está acomodado o tablet, este suporte foi projetado de forma a ser muito simples, pois para tal basta introduzir o tablet e deixar deslizar até ficar acomodado, como mostra a *figura 3.4*.



Figura 3.4: Suporte construído para apoiar o tablet.

A forma como este suporte se fixa ao robô, também é simples e prático, pois foi construído um ponto de fixação, onde apenas com dois fechos se consegue montar a coluna do robô, como se pode ver na *figura 3.5*.



Figura 3.5: Fecho construído para fixar a coluna do robot.

Esta facilidade de montar/desmontar o copo do robô permite que em caso de necessidade de transporte, para outro edifício ou para manutenção, seja mais prático transportá-lo.

A estrutura do corpo do robô foi construída com contraplacado de choupo, de 5 e 10 mm de espessura.

O desenho do projeto do corpo do robô construído é mostrado na *figura 3.6*. O desenho detalhado de todas as peças que constituem o corpo do robô, é mostrada com mais detalhe no *anexo A*.



Figura 3.6: Estrutura construida para o corpo do robô.

3.5 Comparação das características principais

Uma vez que o robô possui um aspeto cicerone, foi-lhe atribuído o nome de Assis.

A seguir é apresentada uma tabela com a comparação das principais características dos dois robô descrito no estado da arte com o robô assim.

	Pepper	REEM	Assis
Altura	120 cm	170 cm	115 cm
Peso	28 Kg	100 Kg	8 kg
Peso adicional	---	30 Kg	7 Kg
Câmaras	2	3	1
Sonares	2	16	6
Laser	6	2	---
Infra-vermelhos	---	3	7
ecrã	10,1"	12,1"	7"
Autonomia	12 horas	8 horas	3 horas
Networking	Wi-fi, Ethernet	Wi-fi, Ethernet, 3G	Wi-fi, Ethernet
Velocidade	3 Km/h	4 Km/h	2,5 Km/h

Capítulo 4

Software

Neste capítulo são descritas as aplicações usadas e desenvolvidas, assim como as suas funcionalidades. O software consiste, principalmente, na interface gráfica e na sua conexão ao computador portátil responsável por controlar o robô.

Uma vez que o resultado final deste trabalho, será o robô ser usado por várias pessoas (utilizadores) foi então, primeiramente projetado uma base de dados que permite gerir todos os utilizador que utilizem o robô, bem como os percursos ensinados e as tarefas executadas ou em execução.

Esta base de dados visa essencialmente registar todos os utilizadores do robô, guardando os seus dados pessoais e as suas preferências. É também possível gerir os privilégios que cada utilizador terá para usufruir do robô. Também todos os locais e percursos ensinados ao robô serão registados na base de dados, assim como todas as missões que o robô execute.

Foi então projetado um diagrama de base de dados, mostrado abaixo na *figura 4.1*, onde estão expostas todas as ligações entre as várias entidades da base de dados.

O passo seguinte foi desenvolver uma interface para poder introduzir dados na base de dados implementada, de uma maneira simples e fácil. Esta interface também será usada para enviar comandos de controle para o robô.

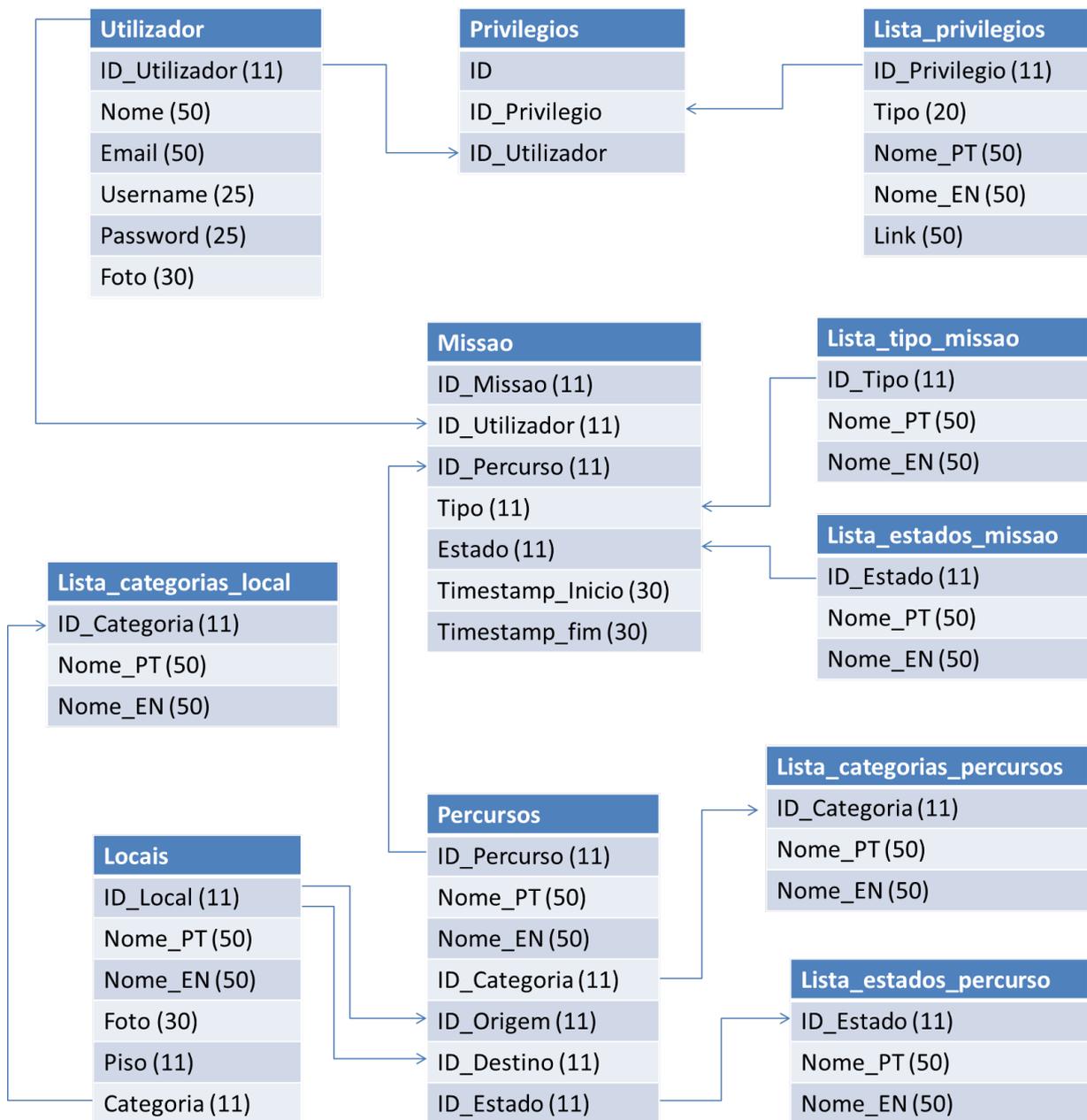


Figura 4.1: Diagrama da base de dados implementada.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho foi permitir um controlo do robô através de várias plataformas e futuramente à distância, a interface desenvolvida foi baseada num ambiente WEB, o que possibilita que qualquer dispositivo com uma ligação à rede do robô e um browser, consiga estabelecer uma ligação. Assim para programar a interface foram usadas várias linguagens de programação, como, HTML, PHP e JavaScript.

De referir ainda que toda a interface foi projetada para ser multilíngua, atualmente apenas está implementada a língua portuguesa e a língua inglesa, mas facilmente se introduz novas línguas no sistema.

Na *figura 4.2*, são apresentados dois exemplos da interface desenvolvida para este trabalho.

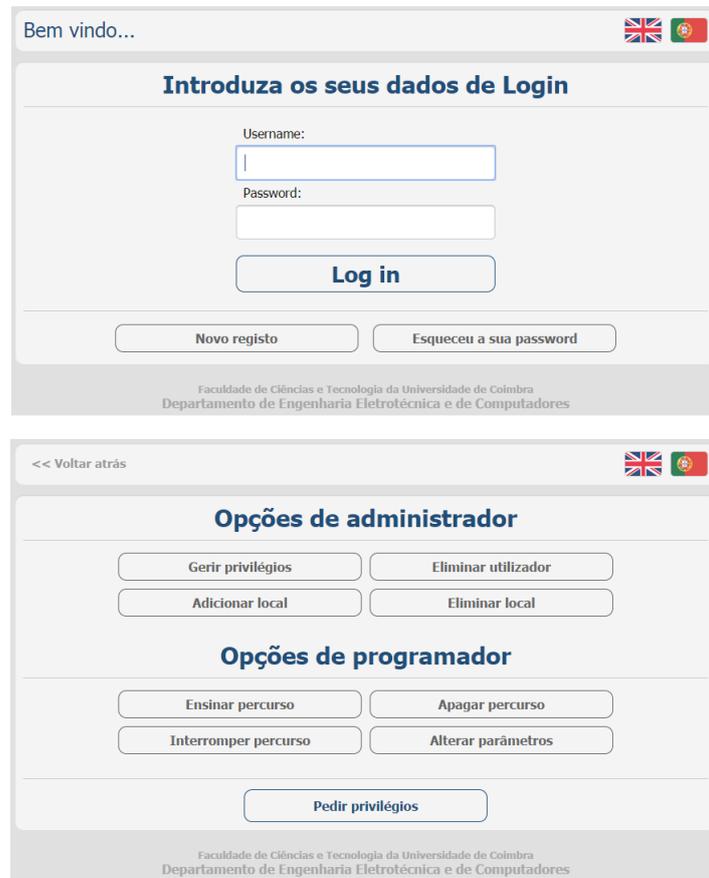


Figura 4.2: Exemplos da interface desenvolvida.

Assim, uma vez que este trabalho visa acrescentar uma interface gráfica ao robô, foi projetado uma arquitetura de software que relacione o conjunto de interface e base de dados, com o software de controlo do robô, já existente. Foi então implementada uma comunicação via socket, a fim de tornar possível a ligação do interface com o robô. Para estabelecer esta ligação foi desenvolvido um protocolo de comunicação, onde a cada instrução dada pelo utilizador para o robô é recebida uma mensagem de confirmação, este protocolo é relativamente simples. Um exemplo prático é mostrado na *figura 4.3*, que ilustra o comando dado pelo utilizador para o robô no caso da tarefa guia que foi implementada.

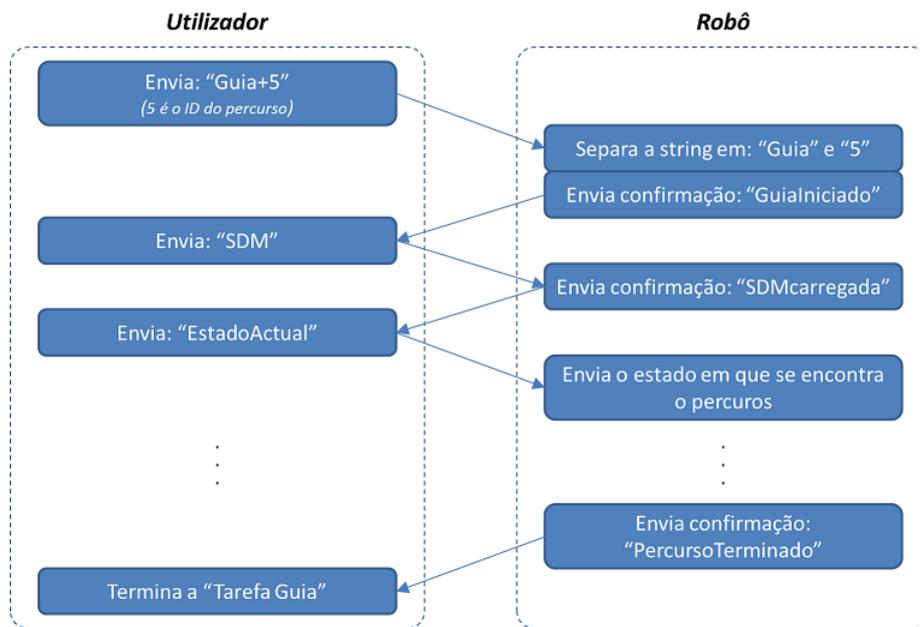


Figura 4.3: Exemplos do protocolo de comunicação implementado.

O primeiro passo foi fazer algumas alteração no código de controlo do robô já existente, que consistiu em adicionar um servidor de socket, que irá fornece um serviço de informação à interface, este servidor está continuamente ligado à espera de requisições por parte do cliente.

Neste caso o cliente será a interface gráfica desenvolvida, que sempre que necessitar inicia uma comunicação com o servidor, a fim de obter informação sobre o estado atual do robô, por exemplo, se está a executar algum percurso, ou se terminou, etc. Além de obter informação do estado atual do robô, esta comunicação permite também que, do lado da interface, sejam enviados comandos de controlo para o robô.

Foi então desenvolvida e projetada a arquitetura do sistema, mostrada na *figura 4.4*, para todo o software deste trabalho.

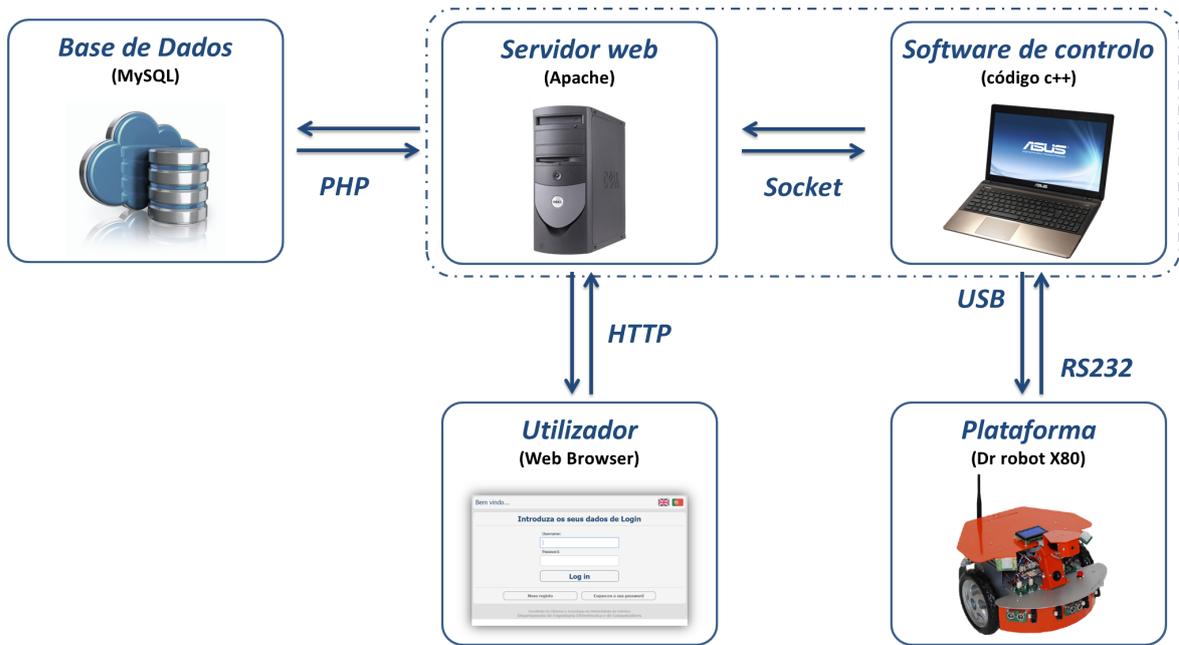


Figura 4.4: Arquitetura do software desenvolvido.

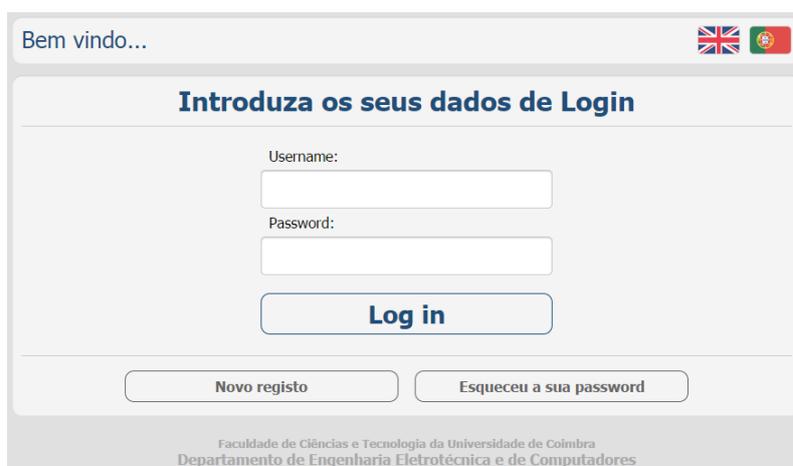
Capítulo 5

Implementação e Resultados

Neste capítulo são descritas as várias implementações dos algoritmos desenvolvidos e apresentados alguns resultados dos testes de navegação autónoma. Explica-se o modo de gestão da base de dados, o modo de condução durante o ensino, e as tarefas realizadas pelo robô.

5.1 Gestão da base de dados

Para gestão da base de dados é fundamental, que um utilizador seja de confiança, para isso foi implementado um sistema de Login (*figura 5.1*), que apenas aceita os utilizadores registados. Este sistema também limita a utilização do robô, pois só os utilizadores registados é que podem dar comandos ao robô.



Bem vindo...

Introduza os seus dados de Login

Username:

Password:

Log in

Novo registo Esqueceu a sua password

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Figura 5.1: Interface - sistema de login.

Uma vez autenticado no sistema é apresentado ao utilizador as tarefas, para as quais tem

privilégios, e que pode mandar o robô executar.



Figura 5.2: Interface - ecrã inicial das tarefas do robô.

Na gestão da base de dados o utilizador tem ao seu dispor, várias opções, sendo elas:

- Registrar um novo utilizador;
- Eliminar um utilizador;
- Adicionar ou retirar privilégios aos utilizadores;
- Adicionar um novo local;
- Eliminar um local.

Estas opção estão disponíveis em "opção avançadas", que só são disponibilizadas a utilizadores autenticados no sistema e com privilégios para tal. Estas opções podem ser acedidas na página principal do sistema que aparece assim que o utilizador faz login. Esta opção está ilustrada na *figura 5.3*.

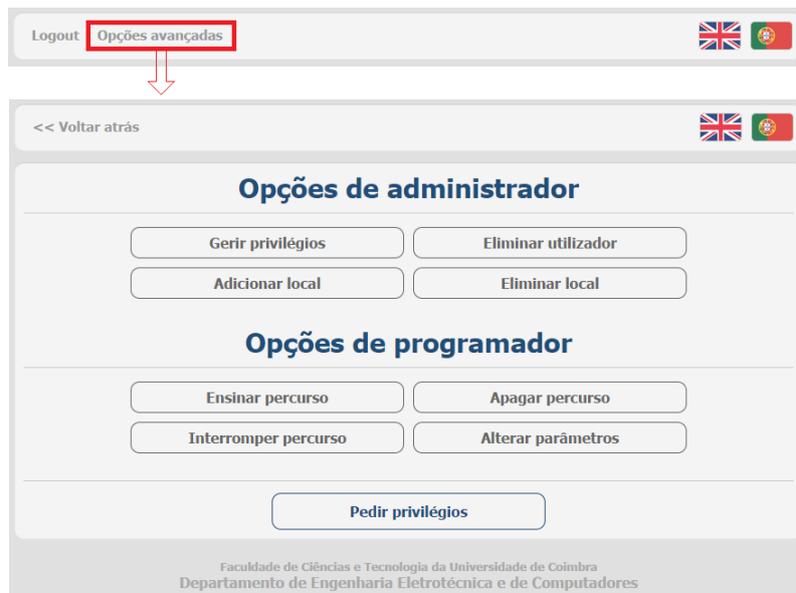


Figura 5.3: Interface - opções avançadas.

Por falta de espaço, no *anexo B* estão ilustrados os vários ecrãs referentes às opções acima indicadas.

5.2 Ensinar um percurso - Condução

Nesta etapa, o utilizador conduz o robô ao longo de um percurso. Para o utilizador iniciar este processo tem de executar a seguinte sequência de opções, **login - opções avançadas - ensinar percurso**.

Ao atuar o botão, "ensinar percurso", será pedido ao utilizador que atribua um nome ao novo percurso que vai ensinar assim como uma categoria. Esta categoria vai definir se o novo percurso será para utilizar na tarefa guia, na tarefa turístico ou nas tarefas de entrega de recados. A *figura 5.4* ilustra estes comandos.



Figura 5.4: Interface - Primeira etapa para ensinar um novo percurso.

Uma vez atribuído um nome e uma categoria ao percurso, o utilizador pode atuar no botão "continuar", onde lhe será apresentado uma lista com todos os locais guardados na base de dados (*figura 5.5*), e assim escolher o local de onde se iniciará o novo percurso.



Figura 5.5: Interface - Segunda etapa para ensinar um novo percurso.

Ao escolher o local de partida, o utilizador está apto a conduzir o robô, para isso é apresentado um ecrã com vários botões de condução, como mostrado na *figura 5.6*. Estes botões executam comandos como:

- Virar para a direita ou para a esquerda, de uma forma lenta ou mais rápida;
- Acelerar e desacelerar o robô;

- Centrar o robô numa condução a direito, atribuído a mesma velocidade a ambas as rodas;
- Parar o robô.

Nesta fase o utilizador deverá retirar o tablet do robô, pois isso permite que o conduza de uma forma mais eficiente. O utilizador irá portanto atrás do robô a conduzi-lo, isto previne o contacto físico com o robô, garantindo que o robô só reage aos comandos enviados. No final do ensino o utilizador volta a colocar o tablet no robô.

Para permitir ao utilizador ter um feedback dos comandos que está a executar, durante o ensino é mostrado ao centro do ecrã as velocidades das rodas, isso permite ao utilizador ter uma perceção dos comandos que está a executar.

Ao mesmo tempo, o robô adquire imagens que são convertidas e guardadas em disco. O nome destas imagens adquiridas contém toda a informação necessária para a posterior navegação autónoma. É de boa prática, assim que o robô chegue perto do local de chegada o utilizador reduzir a velocidade e parar, pois garante que o robô reconhece corretamente o fim do percurso. Terminado o ensino do novo percurso, o utilizador atua no botão "Terminar" e escolhe o local de chegada do percurso que acabou de ensinar.



Figura 5.6: Interface - Terceira etapa para ensinar um novo percurso.

O menu para escolher o local de chegada é semelhante ao descrito e ilustrado anteriormente para seleccionar o local de partida, com a diferença de a lista de locais de chegada não contempla o local de partida.

No final é apresentado um ecrã com a informação que o caminho foi ensinado do local A para B com sucesso, em caso de insucesso, é apresentada uma mensagem de erro com as

possível causas. Esta informação será guardada na base de dados e também em disco no computador que controla o robô, garantido sempre a sincronização dos dados obtidos.

5.3 Tarefa - Guia

Nesta tarefa o software desenvolvido é responsável por conduzir o robô por um dos caminhos ensinados, desde o início até ao fim, com base nas imagens capturadas durante o ensino.

Para iniciar esta tarefa, o utilizador tem ao seu dispor, na página inicial, o botão "Guia", que tem a função levar o utilizador até ao seu destino. Este menu já foi anteriormente ilustrado na *secção 5.1 - figura 5.2*.

Assim a seguir ao utilizador ao atuar no botão "Guia" é apresentada uma lista dos locais possível de destino. Esta lista é selecionada tendo em conta o local atual onde o robô de encontra, ou seja, só são apresentados os destinos de percursos que tenham como origem o local atual do robô e simultaneamente de percursos definidos com a categoria "guia".

Assim que o local destino é selecionado pelo utilizador, e é enviado um comando ao robô com a indicação para inicial o percurso e também com o ID do percurso. Ao receber essa indicação o robô carrega para a SDM todas as imagens referentes ao percurso selecionado e assim que o percurso seja totalmente carregado, inicia a navegação autónoma, que neste caso é a tarefa guia.

Nesta tarefa conforme os seus estados vão sendo apresentados ao utilizador vários ecrãs de informação, para que estes se mantenham a par do que o robô está a executar. Esses ecrãs são ilustrados na *figura 5.7*, representado respetivamente, a informação de espera para carregar as imagens para a SDM, a informação que o robô está a executar o percurso pedido e a informação que terminou o percurso.

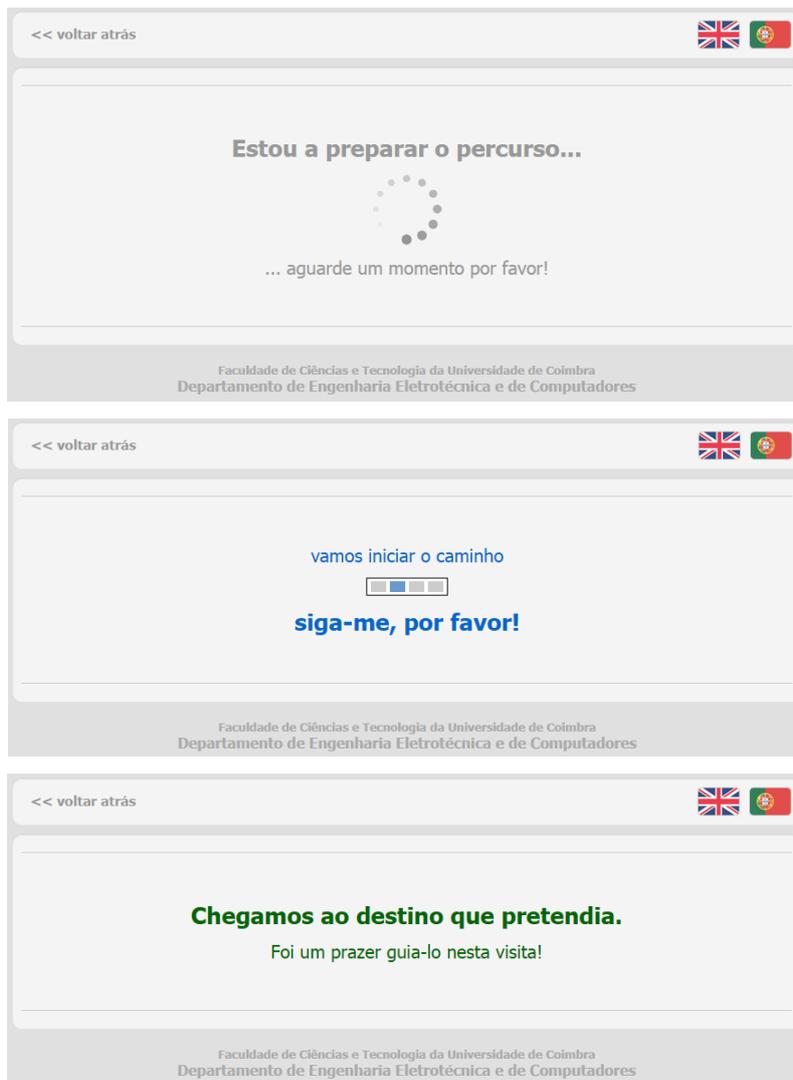


Figura 5.7: Informações apresentadas durante a tarefa guia.

Foi efetuado um teste no piso 3 do DEEC, entre o elevador e a zona de estudo entre as torres R e S. Neste teste foi ensinado um percurso, através da execução do método descrito acima na *secção 5.2*.

Seguidamente foi dada ordem ou robô de levar o utilizador do elevador até à zona de estudo. Foram registados os dois percursos, ensinado e navegação, através de fotografias que foram sobrepostas de modo a que seja possível visualizar facilmente a relação entre os dois percursos.

A *figura 5.8*, apresenta a primeira parte dos percursos, onde o robô tinha que executar um 'S' para contornar a passagem à saída do elevador para o corredor do piso 3. Estes percursos foram marcados com recurso a setas de papel colocas no chão, próximas da roda de apoio do robô, à medida que o robô se ia movimentando. A verde é apresentado o percurso ensinado e a vermelho o percurso que o robô executou através da navegação autónoma.

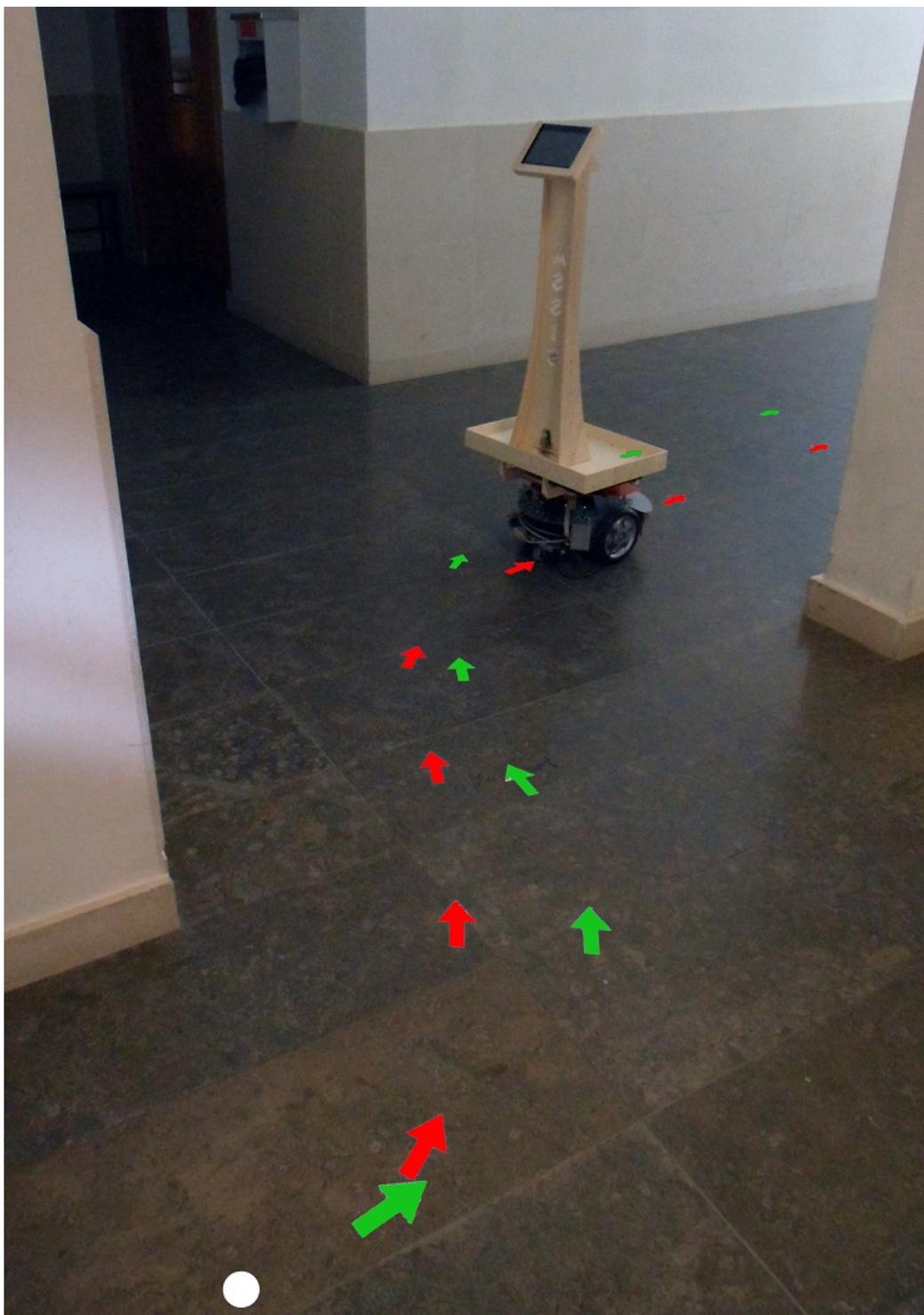


Figura 5.8: Relação entre o percurso ensinado e o navegado autonomamente, primeira parte.

Como se pode verificar, o robô seguiu o percurso ensinado sem problemas, com uma distância máxima entre as trajetórias de apenas 20 cm, aproximadamente.

Na segunda parte do percurso, representada na *figura 5.9*, verifica-se claramente que o robô seguiu o percurso ensinado, embora se note um desvio constante de 20 a 30 cm. Este desvio foi causado pelo 'S' que o robô foi obrigado a fazer na primeira parte do percurso,

que o fez chegar a esta parte do percurso ligeiramente desfasado.

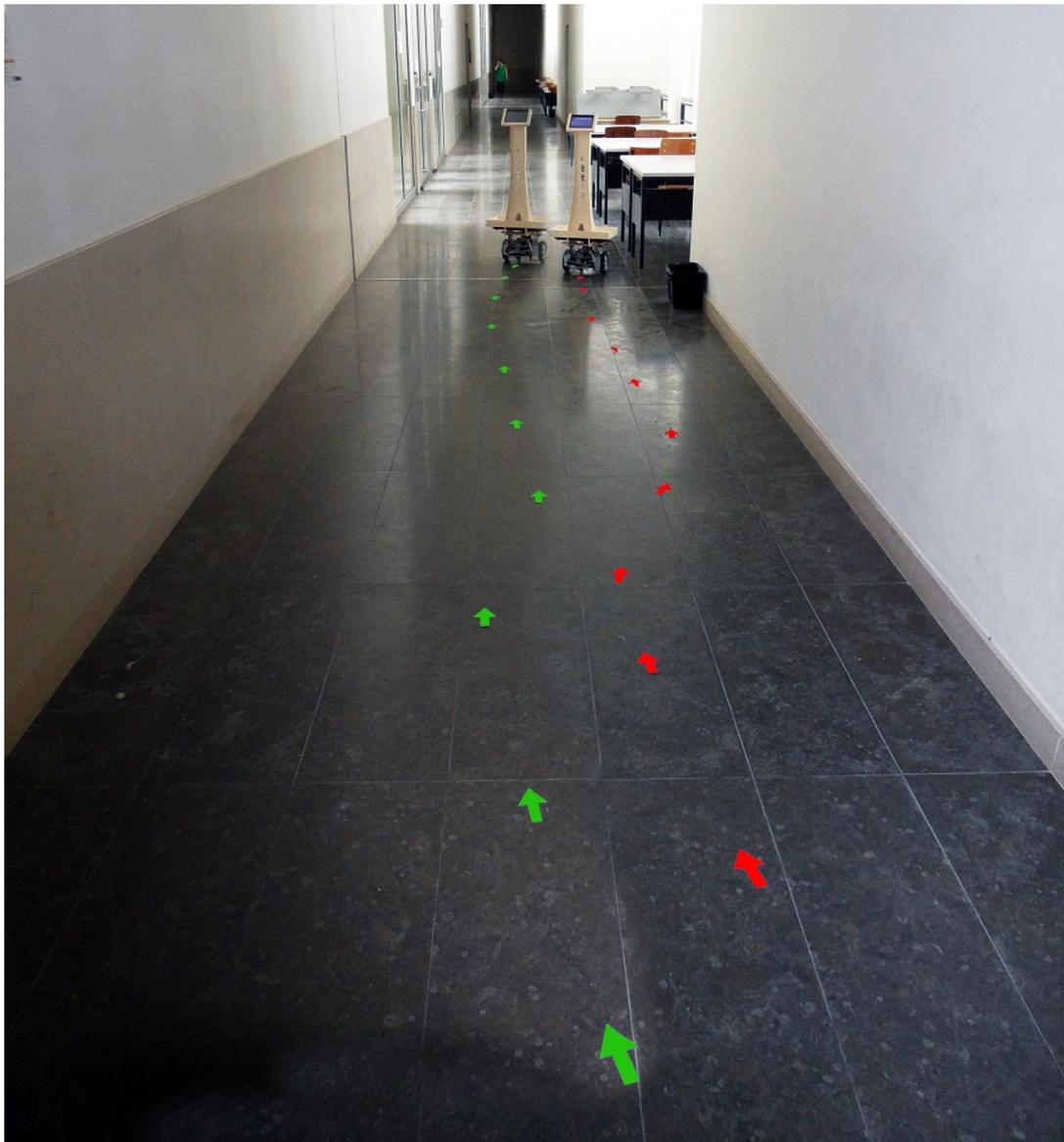


Figura 5.9: Relação entre o percurso ensinado e o navegado autonomamente, segunda parte.

É também interessante verificar o ponto de paragem do percurso ensinado comparativamente com o ponto de paragem da navegação autónoma. Analisando a *figura 5.10*, é possível verificar que os pontos de paragem, embora não sejam os mesmos, estão relativamente próximos um do outro, com um erro de apenas a largura do próprio robô, tendo concluído o percurso com sucesso.

De realçar que imediatamente antes do ponto de paragem, existia uma pequena elevação no chão o que dificultou a passagem do robô, contribuindo como uma fonte de erro no final do percurso navegado autonomamente. Verifica-se que normalmente o robô consegue corrigir erros de orientação provocados por pequenas irregularidades no pavimento.



Figura 5.10: Relação entre o local de paragem do percurso ensinado e o navegado autonomamente.

5.4 Tarefa - Guia Turístico

A tarefa "Guia Turístico" é em tudo semelhante à tarefa "Guia", *secção 5.3*, sendo a única diferença o ensino dos percursos, que neste caso são ensinados da mesma maneira, mas são registados na base de dados com a categoria de "turístico".

Assim sempre que um utilizador der ordem de execução da tarefa "Guia Turístico" apenas os percursos com a categoria "turístico" serão apresentados.

5.5 Tarefa - Dar recado

Nesta tarefa o utilizador pode pedir ao robô que envie um recado direcionado a outro utilizador. Para isso é necessário que seja previamente ensinado ao robô o caminho que liga o local onde se encontra o remetente com o local onde se encontra o destinatário. Para fazer o ensino desse percurso, mais uma vez, se usa o método descrito acima na *secção 5.2*.

Uma vez ensinado o percurso, o utilizador remetente acede à tarefa "Dar recado" no menu inicial e digita o recado que pretende entregar e a quem. A *figura 5.11* ilustra um exemplo de como enviar um recado.

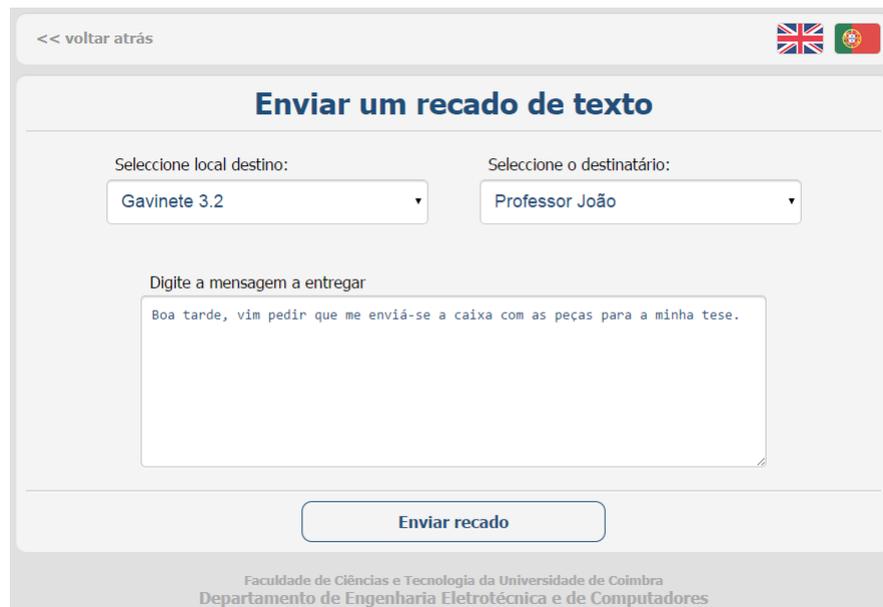


Figura 5.11: Exemplo de como enviar um recado com recurso ao robô.

Uma vez enviado o recado, o robô vai-se deslocar até ao destinatário, que vai receber a mensagem. O robô quando chega ao destinatário apresenta uma informação de que trás um recado para o destinatário, como é ilustrada na *figura 5.12*.

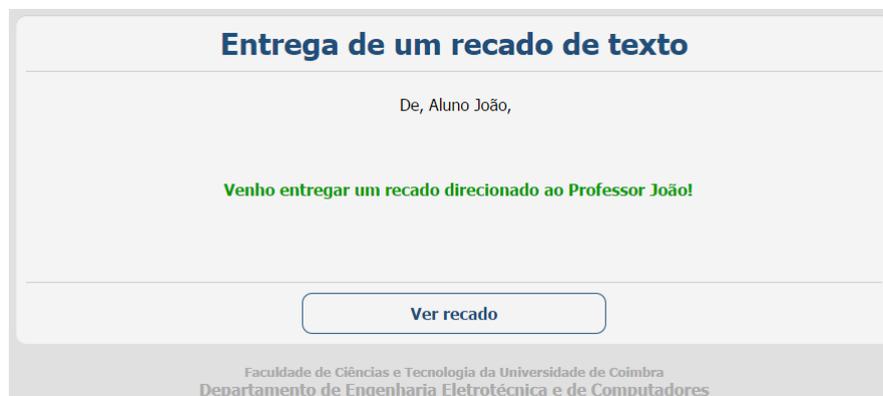


Figura 5.12: Exemplo de como o robô informa que trás um recado.

Assim que o robô chega ao local destino, o destinatário atua o botão "Ver recado" e vê a mensagem que lhe enviaram.

5.6 Tarefa - Entregar Objetos

Nesta tarefa o robô pode transportar objetos entre dois utilizadores, pois foi projetado com uma prateleira para esse efeito (*figura 5.13*).



Figura 5.13: Exemplo do robô a transportar um objeto.

A tarefa "Entregar objetos" é semelhante à tarefa "Dar recado", descrita na *secção 5.5*. Apenas os ecrãs apresentados são ligeiramente diferentes, tudo o resto, como o ensino e a navegação é igual.

São então apresentados, na *figura 5.14* e *figura 5.15*, os ecrãs que representam esta tarefa.

<< voltar atrás

UK Portugal

Enviar um objecto

Seleccione local destino: Gavinete 3.8

Seleccione o destinatário: Aluno João

Enviar objeto

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Figura 5.14: Exemplo de como enviar um recado com recurso ao robô.

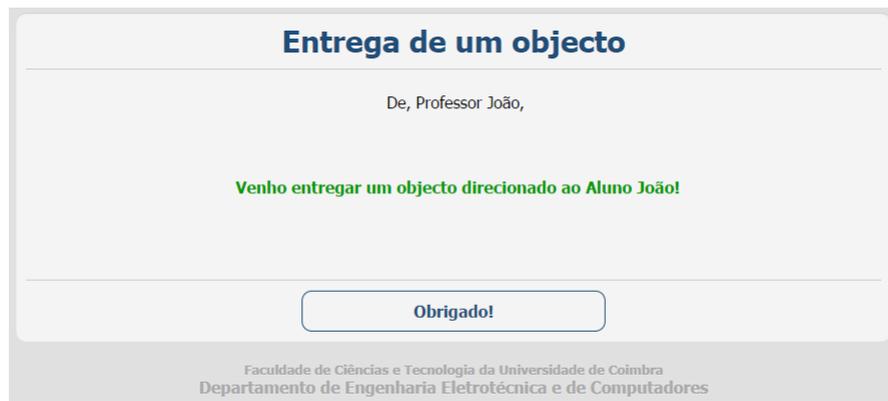


Figura 5.15: Exemplo de como o robô informa que trás um recado.

Capítulo 6

Conclusões e trabalho futuro

6.1 Conclusões

No final do trabalho desenvolvido, verifica-se que todos os objetivos propostos foram alcançados. Este trabalho está relacionado com o trabalho desenvolvido pelo André Brandão [3], que consistiu num sistema de navegação autónoma baseado em visão usando a SDM implementada numa GPU.

O desenvolvimento do software necessário para gerir a interface, assim como a comunicação via socket da interface com o robô e algumas melhorias no software de controlo, tiveram bons resultados. A junção do tablet ao robô revelou-se uma mais valia, pois facilita imenso o controlo do robô.

Também a estrutura física construída para formar o corpo do robô cicerone foi importante nesta tese, pois atribuiu um aspeto muito mais apelativo ao robô, e sendo a base uma prateleira permitiu adicionar mais funcionalidades como a entrega de objetos.

A nova interface desenvolvida para conduzir o robô no processo de ensino dos percursos, revelou-se muito mais prática e eficaz, conseguindo ensinar novos percursos de uma forma mais linear. A comunicação via socket implementada também se revelou bastante robusta, pois existindo uma boa rede de Wi-fi, funciona sem falhas e de forma eficaz. Isto garante uma boa sincronização dos dados guardados na base de dados com os guardados em disco no computador de controlo do robô.

Na sequência do trabalho realizado nesta tese, verifica-se que o robô é capaz de percorrer caminhos autonomamente, através do reconhecimento de imagens guardadas numa SDM, e durante este processo o robô é também capaz de detetar e desviar-se de obstáculos, eficazmente e em tempo real.

Desta forma, conclui-se que a interface desenvolvida é uma boa solução, bastante prática, para o desenvolvimento de novas aplicações que requeiram a movimentação autónoma de um robô móvel. Também a navegação baseada em visão, através da memória de sequências de imagens guardadas na SDM, é uma boa solução para robôs móveis.

6.2 Trabalho futuro

Os objetivos iniciais da tese foram cumpridos, mas há ainda espaço para melhoramentos e inovações posteriores.

Sugere-se o desenvolvimento de uma nova tarefa, "Teleguia", que permita ao utilizador teleguiar o robô à distância, recebendo num visor no seu computador pessoal as imagens que o robô captura em tempo real, permitido assim ao utilizador conduzir o robô.

Sugere-se ainda o desenvolvimento de algoritmos de combinação de percursos, ou seja, sempre que um caminho novo é ensinado, o algoritmo verifica se é possível juntar parte desse caminho com partes de outros caminhos já ensinados e assim criar caminhos novos com base na combinação de caminhos já existentes.

Outra melhoria que pode ser implementada futuramente é o reconhecimento de comandos por voz, permitindo assim uma interação do robô com o utilizador muito mais humana.

Bibliografia

- [1] Mateus Mendes A. Paulo Coimbra Fernando Barros e Manuel Crisóstomo André Rodrigues, André Brandão. "parallel implementation of a sdm for vision-based robot navigation", July 2013. 13th Spanish-Portuguese Conference on Electrical Engineering (13CHLIE), Politechnical University of Valencia (UPV), Spain.
- [2] Asus. Portátil asus, series k. http://www.asus.com/pt/Notebooks_Ultrabooks/K55VJ/. [Online; Visitado a 17-Junho-2014].
- [3] André Alexandre de Sousa Brandão. "robô autónomo guia e para vigilância automática", 2013. [Tese de mestrado].
- [4] Denver-electronics. Denver tad-70112 black. <http://www.denver-electronics.com/denver-tad-70112black/>. [Online; Visitado a 17-Junho-2014].
- [5] Pepper. "the first humanoid robot designed to live with humans". <http://www.aldebaran.com/en/a-robots/who-is-pepper>, 2014. [Online; Visitado a 06-Junho-2014].
- [6] REEM. "full-size humanoid service robot". <http://pal-robotics.com/en/products/reem/>, 2012. [Online; Visitado a 15-Julho-2014].
- [7] Dr Robot. X80 pro. http://www.drrobot.com/products_item.asp?itemNumber=X80pro, 2012. [Online; Visitado a 17-Junho-2014].

Anexo A

Estrutura da Plataforma

A.1 Suporte do computador portátil

O suporte do computador portátil, que controla todo o robô, é constituído essencialmente por três peças, que permitem que se apoie devidamente no robô ao mesmo tempo que o protegem contra danos ou roubo.

O suporte é constituído por dois apoios (*figura A.1*), este apoios serão unidos por uma outra peça (*figura A.2*), que é a peça que fixa toda a estrutura ao corpo do robô.

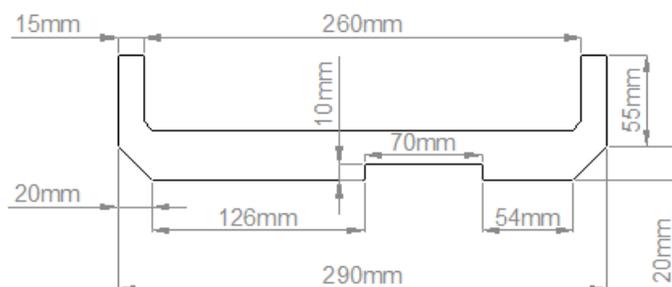


Figura A.1: Desenho e dimensões dos apoios do computador portátil.



Figura A.2: Desenho e dimensões da união dos apoios do computador portátil.

Nestes apoios é fixa uma base, com 10mm de espessura (*figura A.3*), que serve para

apoiar o suporte do tablet (*secção A.2*) , assim como para constituir uma prateleira para o transporte de objetos.

Esta prateleira é constituída pela base e por quatro abas, com *5mm* de espessura (*figura A.4*) , que formam a borda da prateleira afim de sem mais fácil e prático transportar objetos.

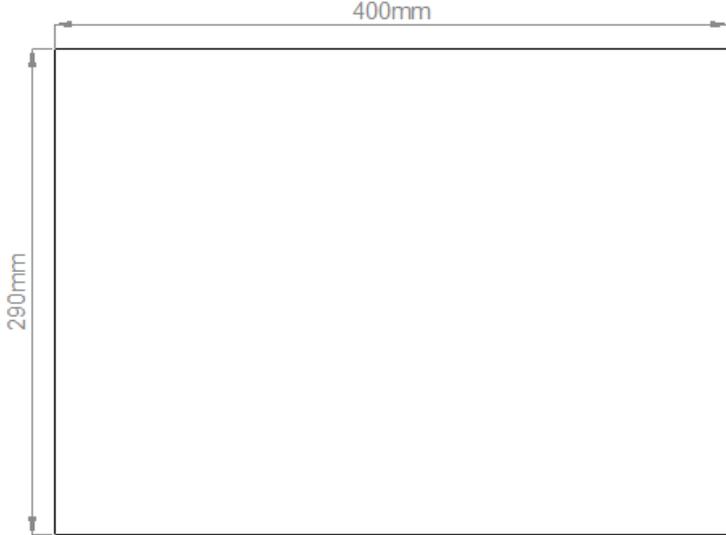


Figura A.3: Desenho e dimensões da base de apoio da estrutura do tablet.

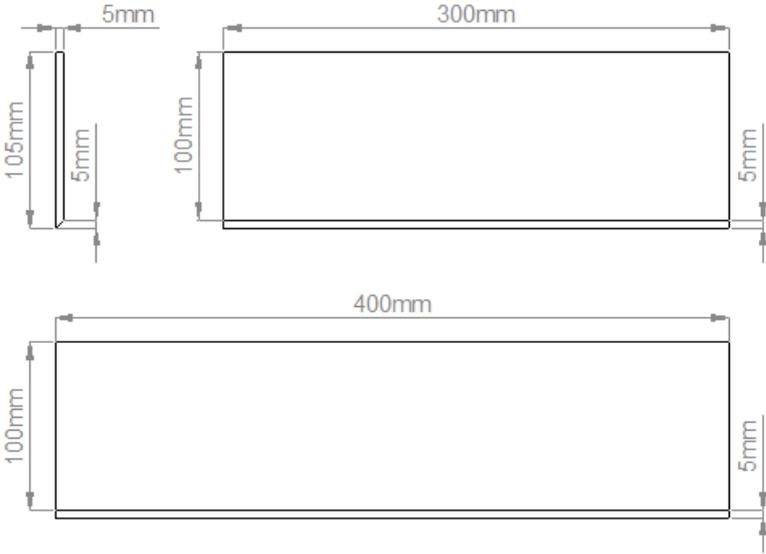


Figura A.4: Desenho e dimensões das abas da prateleira.

A.2 Suporte do tablet

O suporte do tablet [4], é dividido em duas partes, uma coluna de elevação e o apoio do tablet, no conjunto é constituído por seis peças, que permitem que se apoie devidamente o tablet.

A.2.1 Coluna de elevação

O suporte é constituído por uma coluna, que serve de elevação, para o tablet ficar a uma altura mais cómoda para o utilizador poder usar o tablet e controlar o robô. Essa altura será de 80cm como mostra a *figura A.5*. Esta altura a somar à altura do robô (25.5cm) perfaz uma altura de 105.5cm no total.

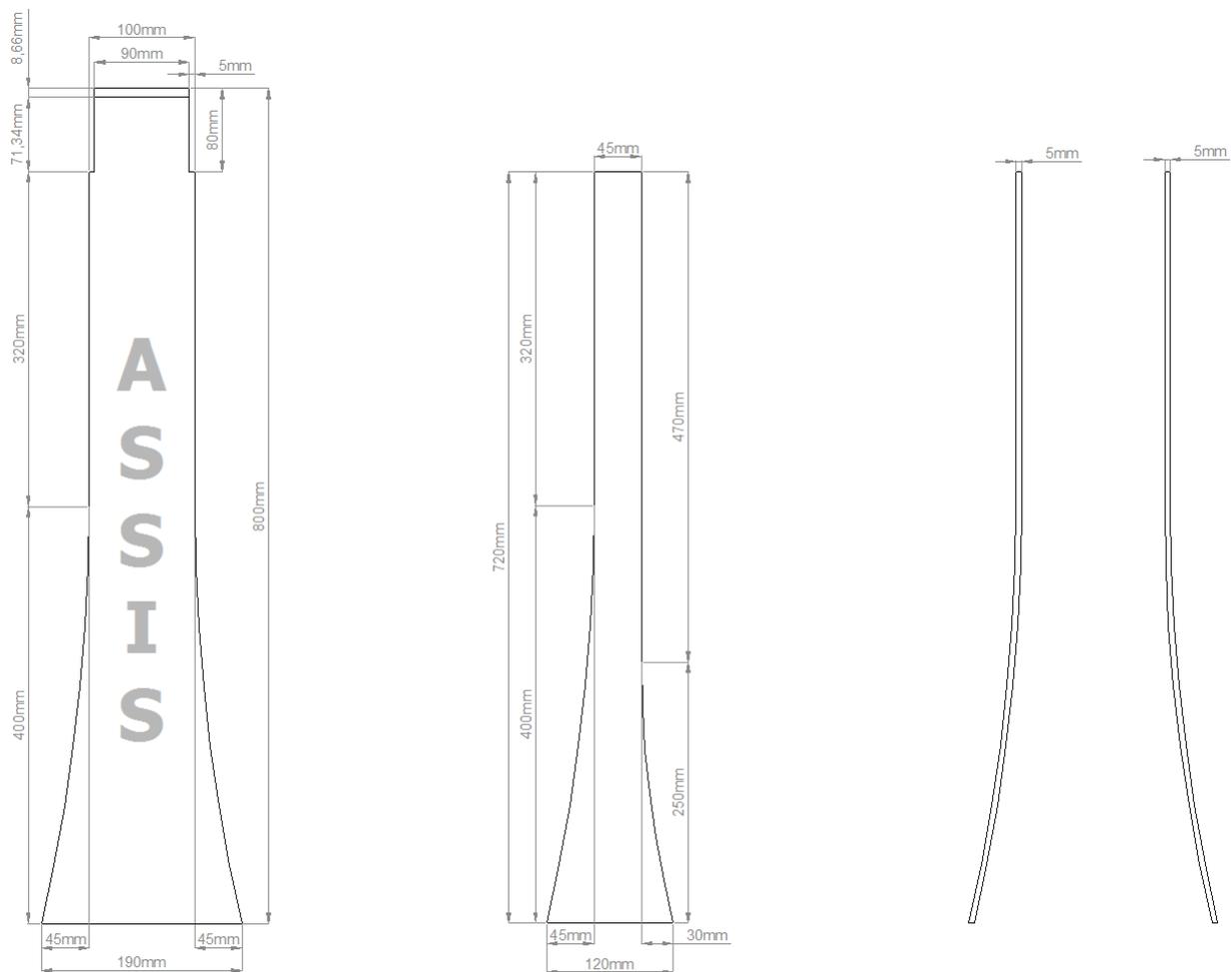
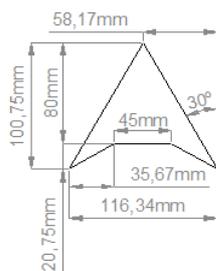


Figura A.5: Desenho e dimensões da coluna de elevação do suporte do tablet.

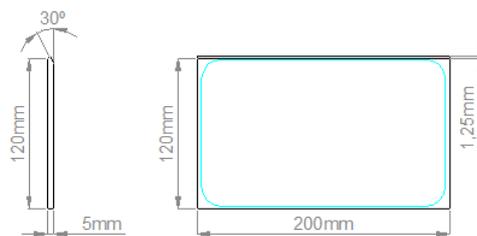
A.2.2 Apoio

O apoio do tablet é constituído por duas peças, que criam uma inclinação de 30° (figura A.6a), onde apoia uma base (figura A.6b), por fim o tablet é fixo por quatro peças de alumínio (figura A.6c) que ajudam também a prevenir o roubo do tablet.

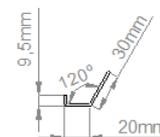
O apoio do tablet permite adicionar uma segunda base e assim fixar um segundo tablet, que poderá ser útil em aplicações futuras.



(a) Inclinação de 30° .



(b) Base de apoio.



(c) Apoios de alumínio.

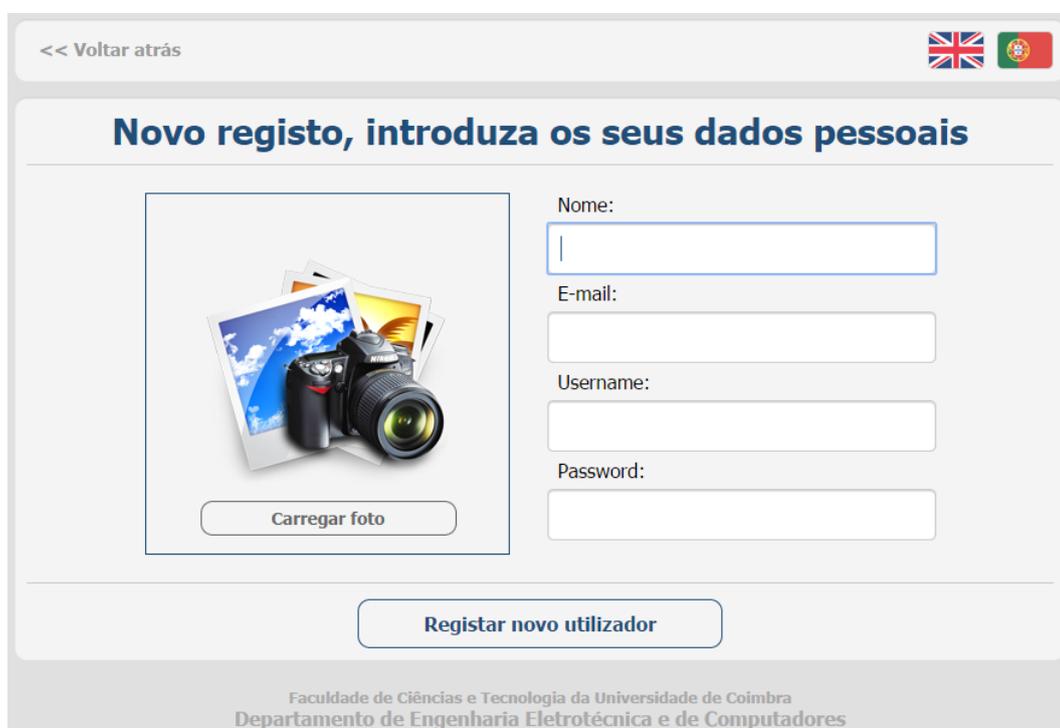
Figura A.6: Desenho e dimensões do apoio do tablet

Anexo B

Opções avançadas da base de dados

Este anexo apresenta os vários ecrãs referentes às opções avançadas que podem ser atribuídas aos utilizadores registados no sistema que, por falta de espaço, não foram expostos no *capítulo 5.1*.

B.1 Ecrã - Registrar um novo utilizador



The screenshot shows a web interface for user registration. At the top left, there is a link '<< Voltar atrás'. At the top right, there are two flags: the United Kingdom flag and the Portuguese flag. The main heading is 'Novo registo, introduza os seus dados pessoais'. Below this, there is a section for uploading a photo, featuring an image of a camera and photos, and a button labeled 'Carregar foto'. To the right of the photo upload area are four input fields: 'Nome:', 'E-mail:', 'Username:', and 'Password:'. At the bottom of the form is a large button labeled 'Registrar novo utilizador'. The footer of the page contains the text: 'Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra' and 'Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores'.

Figura B.1: Ecrã que permite registar um novo utilizador.

B.2 Ecrã - Eliminar um utilizador

Neste ecrã o utilizador pode seleccionar o utilizador a eliminar nos botões, "seguinte" e "anterior".



Figura B.2: Ecrã que permite eliminar um utilizador.

B.3 Ecrã - Adicionar ou retirar privilégios a um utilizador

The image displays two screenshots of a web application interface for managing user privileges. Both screenshots feature a header with a back button labeled "<< Voltar atrás" and flags for the United Kingdom and Portugal. The main title is "Gerir privilégios dos utilizadores".

The top screenshot shows a prompt: "Selecione o utilizador que pretende editar os seus privilégios". Below this is a dropdown menu with the text "Selecione um utilizador". The dropdown is open, showing a list of users: "Selecione um utilizador", "João Miguel Grou Caceiro", "John Mickael", and "Tiago Miguel".

The bottom screenshot shows the same interface after a user has been selected. On the left, there is a profile card for "João Miguel Grou Caceiro" with the email "jmcaiceiro@hotmail.com" and a profile picture. On the right, there is a list of privileges, each with a checked checkbox:

- Tarefa Guia
- Tarefa Turístico
- Tarefa Objectos
- Tarefa Mensagem
- Gerir privilégios
- Eliminar utilizador
- Adicionar local
- Eliminar local
- Ensinar percurso
- Apagar percurso
- Interromper percurso
- Alterar parâmetros

At the bottom of the interface is a button labeled "Guardar privilégios". The footer of the page reads: "Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores".

Figura B.3: Ecrã que permite adicionar ou retirar privilégios a um utilizador.

B.4 Ecrã - Adicionar um novo local



<< Voltar atrás

Introduza as informações do novo local

Nome do local (Português):

Nome do local (Inglês):

Piso/Andar:

Categoria:

Carregar foto

Registrar novo local

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Figura B.4: Ecrã que permite registar um novo local.

B.5 Ecrã - Eliminar um local

Neste ecrã o utilizador pode seleccionar o utilizador a eliminar nos botões, "seguinte" e "anterior".



Figura B.5: Ecrã que permite eliminar um local.