



Ricardo Fábio da Silva Mota

Licenciatura em Ciências da Engenharia Eletrotécnica
e de Computadores

Sensor de distância por infravermelhos para a caracterização do espaço de trabalho

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Fernando José Vieira do Coito, Professor Associado, Fa-
cultade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de
Lisboa

Júri

Presidente:

Arguentes:

Vogais:

Setembro 2018



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Sensor de distância por infravermelhos para a caracterização do espaço de trabalho

Copyright © Ricardo Fábio da Silva Mota, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Para a minha família e amigos

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor Fernando coito pela orientação e paciência demonstrada, assim como todo o apoio ao longo de toda esta investigação.

Um agradecimento também à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

Deixo também um profundo agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam durante todo este percurso, em especial para o Thomas Noronha, Pedro Rodrigues, Alexandre Caetano e Duarte Bragadesto. Todas as pessoas que me acompanharam neste percurso foram essenciais para o meu crescimento quanto pessoa e quanto profissional. Sou uma pessoa melhor, e todos os obstáculos ultrapassados foram mais fáceis pois tenho bons amigos.

Não posso deixar de agradecer às pessoas mais importantes da minha vida e as que mais me apoiaram durante todo este percurso e que sem elas eu não era quem sou hoje. Um agradecimento profundo e do fundo do coração para os meus pais que me apoiaram e motivaram durante todos os 5 anos de luta. Sem vocês não sou nada, com vocês sou capaz de tudo.

Um profundo agradecimento aos meus irmãos por serem quem são, pois, a minha vontade de ser melhor vem do facto de ter os melhores comigo.

Por fim, agradeço à pessoa que me acompanhou durante estes 5 anos de luta, às vezes longe, outras vezes perto, mas no fundo sempre lá, e sempre no meu coração. Foram 5 anos complicados, sem ela havia dias que eram apenas mais um, com ela eram os melhores. Obrigada Patricia Lopes.

Resumo

A navegação autónoma é um tema que é recorrente nos dias de hoje. Desde aspiradores inteligentes a carros autónomos. Requisitos de sistemas deste tipo são a possibilidade de calcular a distância a potenciais obstáculos, sendo necessário realizar a caracterização do espaço de trabalho de modo a permitir a navegação no mesmo.

Existem soluções para estes problemas, no entanto estas tendem a ser dispendiosas e nem sempre permitem uma caracterização do espaço de trabalho.

Com esta investigação recorre-se a um sensor de medição de distância por infravermelhos para determinar o perfil do espaço de trabalho, dando um maior foco à caracterização do funcionamento do sensor.

Existem alguns estudos sobre este tipo de sensores. No entanto existe uma carência de informação no que diz respeito à caracterização do funcionamento dos mesmos.

Neste trabalho combina-se a utilização do dispositivo GP2Y0A60SZ0F da Sharp e uma unidade de processamento para fazer a caracterização do espaço de trabalho. A solução passa por usar redes neuronais para estimar a distância a um obstáculo assim como determinar a sua presença.

No final obtém-se um sistema capaz de medir a distância a um potencial obstáculo e traçar o perfil do espaço de trabalho.

Palavras-chave: Sensor de presença; Medição de distância; Sensores infravermelhos; Características técnicas; Caracterização espacial

Abstract

Nowadays autonomous navigation is recurrent subject. From intelligent vacuums to autonomous cars, one of the requirements of this systems is the possibility to calculate the distance to obstacles, as it is necessary to perform the characterization of the workspace allowing an autonomous navigation.

There are already solutions to these problems, nonetheless, they tend to be more expensive and not every time allowing to make a characterization of the workspace.

In this investigation we use a distance measuring infrared sensor to determine the profile of the workspace, being the characterization the main focus.

There are studies about this type of sensors. However, there is a lack of information regarding the characterization of their operation.

We here combine the use of the Sharp device GP2Y0A60SZ0F and a processing unit to do the characterization of the surrounding space. The solution is to use neural networks to estimate the distance to an obstacle as well as determine its presence.

In the end, we came up with a system capable of measuring the distance to an obstacle and capable of determine the profile of the surrounding environment.

Keywords: Presence sensor; Distance measurement; Infrared sensors; Technical characteristics; Spatial characterization

Índice Geral

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice Geral	xi
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Figuras	xv
Lista de Siglas e Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Contribuições	3
1.4 Estrutura da dissertação	4
2 Principais conceitos e revisão bibliográfica	7
2.1 Sensores de distância a obstáculos	7
2.2 Escolha do sensor	14
2.3 Caracterização do elemento sensor e criação de um sensor	15
3 Caracterização do elemento sensor	19
3.1 Distância ao alvo – Calibração do sensor	21
3.2 Influência da intensidade luminosa do meio	30
3.3 Influência da orientação do alvo	33
3.4 Influência da temperatura do meio	37
3.5 Influência do pigmento e composição do alvo	39
3.6 Influência entre elementos sensores	44
3.7 Característica de detecção espacial	46
4 Caracterização do espaço de trabalho	67
4.1 Filtro de Kalman para caracterização do espaço de trabalho	71
4.2 Redes neuronais para caracterização do espaço de trabalho	73

5 Conclusões e trabalho futuro	85
5.1 Conclusões	85
5.2 Trabalhos futuros.....	87
Referências.....	89
Anexos	93
Anexo A Código .ino utilizado para aquisição dos dados.....	94
Anexo B Cenários e resultados destes	95

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Tabela de comparação entre vários sensores	14
Tabela 3.1 – Exemplo da tabela utilizada para retirar informação dos dados recolhidos do sensor.....	21
Tabela 3.2 - Valores registados consoante a distância ao alvo.	24
Tabela 3.3 – Tabela de valores de tensão recolhidos para a o processo de calibração.....	27
Tabela 3.4 – Valores de tensão média para diferentes situações de iluminação.	31
Tabela 3.5 – Valores de desvio padrão para diferentes situações de iluminação.....	32
Tabela 3.6 – Tabela dos valores recolhidos com um alvo a 45°.....	35
Tabela 3.7 – Valores de desvio padrão para uma orientação de 45°.....	35
Tabela 3.8 – Registo dos valores de tensão ao longo de uma variação de temperatura de 7 °C do sensor.....	38
Tabela 3.9 – Registo dos valores de tensão ao longo de uma variação de temperatura de 10 °C do alvo.	39
Tabela 3.10 – Tensão média por cada alvo com os respetivos pigmentos e por distância.....	40
Tabela 3.11 – Valores de tensão referentes às respetivas distâncias com alvos com diferentes materiais.	42
Tabela 3.12 – Tensão média na presença de alvos com diferente composição, mas um aparentemente igual pigmento.....	43
Tabela 3.13 – Valores de tensão média para cada modo de operação.	45
Tabela 3.14 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção horizontal a 10cm.	48
Tabela 3.15 – Resultados da aplicação da condição de aceitação nos resultados obtidos a 10cm.	51
Tabela 3.16 – Resultados da aplicação da condição de aceitação nos resultados obtidos a 30cm.	53
Tabela 3.17 – Característica de deteção a 60cm de distância do elemento sensor.....	54
Tabela 3.18 – Característica de deteção a 100cm de distância do elemento sensor.....	55

Tabela 3.19 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 10cm.	56
Tabela 3.20 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 10cm.....	58
Tabela 3.21 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 30cm.	59
Tabela 3.22 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 60cm.	59
Tabela 3.23 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 30cm.....	59
Tabela 3.24 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 60cm.....	59
Tabela 3.25 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 100cm.	60
Tabela 3.26 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 100cm.....	60
Tabela 3.27 – Característica global de deteção para um obstáculo a 10cm.	62
Tabela 4.1 – Distância real do objeto em relação ao sensor em cada ponto de cálculo.	75
Tabela 4.2 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto referentes ao cenário 1.....	77
Tabela 4.3 – Comparação entre a distância real e a calculada pela rede neuronal do cenário 4. 80	80
Tabela 4.4 – Comparação entre a classificação real e a estimada pela rede neuronal relativa ao cenário 4.	80
Tabela 4.5 – Comparação entre a classificação real e a estimada pela rede neuronal relativa ao cenário 4 após aplicada a condição de pertença.	81
Tabela B.1 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 1.	96
Tabela B.2 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 2.	98
Tabela B.3 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 3.	100
Tabela B.4 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 4.	102
Tabela B.5 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 5.	104

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Esquema de funcionamento de um sensor baseado em triangulação.....	13
Figura 2.2 – Elemento sensor infravermelho (GP2Y0A60).....	15
Figura 2.3 – Esquema de funcionamento da unidade elemento/unidade de processamento.....	16
Figura 2.4 – Curva que relaciona a tensão medida e a distância real ao objeto. Retirado de [7].	17
Figura 3.1 – Circuito usado para regular a tensão de alimentação do elemento sensor. Retirado de [38].....	20
Figura 3.2 – Alvo usado para o primeiro teste.....	22
Figura 3.3 – Montagem utilizada para o cálculo da relação entre a tensão disponibilizada pelo elemento sensor e a distância ao alvo.....	23
Figura 3.4 – Relação entre a distância ao obstáculo e a tensão de saída do sensor.....	25
Figura 3.5 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor.....	26
Figura 3.6 – Gráfico da relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor após recalibração.....	28
Figura 3.7 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor no intervalo de 20cm-80cm.....	29
Figura 3.8 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor no intervalo de 80cm-100cm.....	29
Figura 3.9 – Representação gráfica da variação da tensão em função da fonte de iluminação...	33
Figura 3.10 – Montagem da medição da influência da orientação com o objeto a 45° e 60cm de distância.....	34
Figura 3.11 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 30° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.....	36
Figura 3.12 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 45° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.....	36
Figura 3.13 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 60° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.....	37
Figura 3.14 – Relação entre o pigmento do alvo a uma certa distância e a tensão produzida pelo elemento sensor.....	41
Figura 3.15 – Relação entre a composição do alvo a uma certa distância e a tensão disponibilizada pelo elemento sensor.....	42

Figura 3.16 – Relação entre a composição e pigmento do alvo a uma certa distância e a tensão disponibilizada pelo sensor.....	44
Figura 3.17 – Montagem utilizada para o teste de interferência entre elementos sensor do mesmo tipo.	45
Figura 3.18 – Representação gráfica dos valores obtidos utilizando 1 ou 2 sensores ao mesmo tempo.	46
Figura 3.19 – Montagem utilizada para o cálculo da característica horizontal.	47
Figura 3.20 – Gráfico resultante dos dados da tensão média da característica de detecção horizontal a 10cm.	49
Figura 3.21 – Gráfico resultante dos dados do desvio padrão da característica de detecção horizontal a 10cm.	49
Figura 3.22 – Gráfico resultante dos dados da tensão média da característica de detecção vertical a 10cm.	57
Figura 3.23 – Gráfico resultante dos dados do desvio padrão da característica de detecção vertical a 10cm.	57
Figura 3.24 – Aplicação da regra que exclui pontos cuja vizinhança e vizinhos não são detecções.	63
Figura 3.25 – Área de detecção a 10cm (valores da imagem em cm).....	64
Figura 3.26 – Área de detecção a 30cm (valores da imagem em cm).....	64
Figura 3.27 – Área de detecção a 60cm (valores da imagem em cm).....	64
Figura 3.28 – Área de detecção a 100cm (valores da imagem em cm).....	64
Figura 3.29 – Representação 3D da característica de detecção espacial do elemento sensor.	65
Figura 4.1 – Mecanismo de rotação horizontal e vertical.	68
Figura 4.2 – Curva de calibração dos valores de distância entre 20cm e 80cm.	69
Figura 4.3 – Curva de calibração dos valores de distância entre 80cm e 100cm.	69
Figura 4.4 – Possíveis estados do sensor.....	71
Figura 4.5 – Cenário 1 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.	74
Figura 4.6 – Largura de detecção entre 10cm e 100cm de distância ao sensor.....	76
Figura 4.7 – Modelo de funcionamento do processamento pela rede neuronal.	78
Figura 4.8 – Cenário 4 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.	79
Figura 4.9 – Representação gráfica dos resultados obtidos utilizando a rede neuronal criada para calcular a distância e classificar a medida quanto à presença de objeto.....	82
Figura 4.10 – Comparação da distância real dos obstáculos no espaço e a aglomeração de informação produzida pela rede neuronal.....	83
Figura A.1 – Código .ino utilizado para a aquisição dos dados e cálculo da média da tensão e respetivo desvio padrão	94

Lista de Siglas e Acrónimos

DP – Desvio padrão.

IR – Infravermelho.

LIDAR – Light Detection and Ranging

MDP – Máximo desvio padrão.

MTM – Máximo da tensão média.

TM – Tensão média.

US – Ultrassons.

1 Introdução

1.1 Motivação

Com esta investigação pretende-se colmatar a falta de informação que existe na caracterização do funcionamento de sensores infravermelhos de medição de distância baseados no princípio da triangulação. Tanto na bibliografia a que tivemos acesso como nas fichas técnicas, notou-se uma carência de informação no que toca à caracterização dos aspetos de funcionamento dos dispositivos e os fatores condicionantes dos mesmos.

Nesta dissertação utiliza-se um elemento sensor que faz a medição da distância baseando-se no princípio da triangulação. Visto que a bibliografia a que tivemos acesso carece de informação específica acerca do funcionamento deste tipo de dispositivo, foi feita uma caracterização deste, que apenas disponibiliza uma tensão de acordo com a distância a que está do obstáculo. Com este elemento sensor visa-se desenvolver um sistema de medição de distância capaz de detetar um obstáculo e saber a sua distância. Pretende-se ainda desenvolver um sistema capaz de perceber o ambiente envolvente e traçar o perfil dos objetos pertencentes a esse ambiente.

Atualmente existem vários tipos de sensores para a medição e deteção da proximidade a um objeto, estes estão divididos em sensores ativos e passivos.

Os sensores ativos são sensores caracterizados por fornecer energia para o próprio funcionamento. Dentro deste tipo de sensores existem os sensores laser e LIDARs (*Light Detection and Ranging*), sensores baseados em ultrassons (US), sensores baseados em infravermelhos (IR) e ainda sensores de contacto. Já os sensores passivos são caracterizados por medir a energia que está naturalmente disponível, por exemplo, energia na gama dos infravermelhos que os humanos emitem[1][2].

Os sensores ativos têm sido muito utilizados na área da robótica, onde são necessários para a navegação de robôs no ambiente envolvente.

Na área da navegação autónoma os sensores mais utilizados são os sensores laser e as câmeras. De acordo com o objetivo desta investigação um sistema baseado neste tipo de sensores não é o pretendido já que ambos apresentam custos elevados.

No caso deste estudo pretende-se, a um custo reduzido, criar um sistema capaz de calcular a distância a um objeto, localizá-lo e ainda fazer uma descrição do seu perfil.

Para isso pensou-se em sensores baseados em US e sensores baseados em IR, já que estes são frequentemente usados para a deteção de obstáculos[2][3][4]. Decidiu-se, no entanto, utilizar os sensores baseados em IR para esta investigação. Mais uma vez não excluindo os sensores baseados em US para o cálculo da distância ao objeto, mas sendo que as características de um sensor ultrassónico não são as melhores para caracterizar o ambiente envolvente, manteve-se a escolha dos sensores baseados em IR.

O uso de sensores infravermelhos prende-se pelo facto destes não só serem baratos, e dado que no meio desta investigação o acesso aos mesmos é facilitado, mas também pela capacidade de medição de distâncias a um objeto ser precisa.

Foi também um fator decisivo a possibilidade de usar este tipo de sensor para detetar e caracterizar o objeto que este percebe no seu caminho, como demonstram em [5][6]. É com base nestes artigos que se chega à conclusão que num sistema deste tipo, e para o objetivo de medir a distância a um objeto e caracteriza-lo, uma hipótese seria a fusão sensorial, seja de vários sensores baseados em IR ou com outros sensores, no entanto pretende-se perceber até que ponto apenas um sensor é capaz de obter estes resultados.

São várias as opções disponíveis quando chega a altura de escolher o sensor, no entanto, da utilização dada ao sensor, custo de aquisição desejado do dispositivo e informação disponível acerca deste, chegou-se à conclusão que o sensor infravermelho GP2Y0A60SZ0F da Sharp [7] era o que oferecia uma melhor relação entre o intervalo de medição/precisão e custo pretendido. Esta foi a escolha, mas para distâncias superiores à distância máxima do elemento sensor escolhido existem sensores com melhor precisão, no entanto o preço sobe quando as características como a distância de medição aumentam.

Procura-se assim responder a três questões fundamentais nesta investigação.

Em primeiro lugar saber quais são as características do elemento sensor de medição de distância, isto é, pretende-se caracterizar a relação entre o sinal produzido pelo sensor com a distância ao obstáculo. Para isso é necessário perceber que fatores podem influenciar esse sinal. Condicionantes como a cor, material e distância de um objeto, a sua posição no “ângulo de visão” do elemento sensor, assim como a temperatura e luminosidade do meio são tomadas em consideração. Estes são alguns fatores que podem influenciar o funcionamento do elemento sensor.

No seguimento da caracterização pretende-se partir de um elemento sensor que produz um valor de tensão, ou vários ao longo do tempo, e transformá-lo numa medida de distância mensurável que seja fiável. Este cálculo pode ser feito recorrendo a métodos estatísticos como a média

e variância dos valores obtidos e comparar com a distância real. É com a combinação de esta informação que se pretende desenvolver um sensor de medição de distância.

No final pretende-se usar o sensor para obter o perfil do meio envolvente, mais concretamente através da agregação de informação proveniente do dispositivo de modo a criar o perfil desse ambiente.

1.2 Objetivo

A dissertação tem como principal objetivo a caracterização de um sensor infravermelho usado como sensor de medição de distância a obstáculos. Pretende-se ainda usar um sistema para caracterizar o meio ambiente envolvente.

Vão-se estudar as características de medição do elemento sensor, ou seja, estudar a relação entre a tensão produzida pelo elemento sensor e a distância a que este se encontra de um obstáculo - ou seja a sua curva de calibração. O valor medido pelo sensor pode ser afetado por um conjunto de fatores externos variados. Estes fatores podem ser a luminosidade do meio, a cor do alvo, composição/material constituinte do alvo, posição do alvo relativamente à perpendicular do feixe IR emitido e a temperatura do meio. Dependendo de cada um destes o resultado obtido pelo sensor poderá variar.

O objetivo da dissertação é perceber como cada um destes fatores afeta as medidas produzidas pelo dispositivo de medição GP2Y0A60SZ0F. Com essa informação produzir um sistema capaz de determinar o perfil da área de trabalho envolvente.

1.3 Contribuições

Neste trabalho caracteriza-se um sensor infravermelho de medição de distância da Sharp, o GP2Y0A60SZ0F[7]. Este passa por estudar fatores que potencialmente afetam o funcionamento do dispositivo. Os fatores considerados neste estudo são:

1. Distância ao alvo;
2. Intensidade luminosa do meio;
3. Orientação do alvo;
4. Temperatura do meio;
5. Pigmento e composição do alvo;
6. Influência de outros sensores iguais;
7. Espaço de detecção (Característica de detecção espacial).

Através do estudo da influência destes fatores no funcionamento do dispositivo tiram-se conclusões que permitem perceber como variam as medições com a alteração de cada um dos fatores. Pretende-se assim aumentar o conhecimento sobre este tipo de sensores, colmatando a carência de informação atual.

É ainda feito um estudo que permite utilizar um destes sensores acoplados com uma unidade de processamento e fazer a detecção do perfil do ambiente de trabalho. Este processo é executado recorrendo ao uso de redes neuronais.

Por fim utiliza-se o sistema desenvolvido para determinar o perfil do espaço de trabalho, usando apenas a informação disponibilizada pelo sensor.

1.4 Estrutura da dissertação

Nesta secção são apresentados resumidamente cada capítulo e das secções.

Este documento está dividido em 5 capítulos: Introdução, Principais conceitos e revisão bibliográfica, Caracterização do elemento sensor, Caracterização do espaço de trabalho e Conclusão e trabalhos futuros.

No **Capítulo 1 – Introdução**, são apresentadas as motivações e os objetivos da investigação. No seguimento é definido o problema do trabalho e também são evidenciadas as contribuições.

No **Capítulo 2 – Principais conceitos e revisão bibliográfica**, é feita uma pequena introdução aos sensores de medição de distância relevantes. Em seguida apresenta-se uma comparação entre vários sensores onde se escolhe o sensor a utilizar na investigação. São ainda apresentados fatores que serão estudados, assim como o processo de caracterização do elemento sensor.

No **Capítulo 3 – Caracterização do elemento sensor**, é efetuada a caracterização do elemento sensor. Caracteriza-se o sensor quanto ao seu comportamento face a vários fatores. Foram estes a Distância ao alvo, Intensidade luminosa do meio, Influência da orientação do alvo, Influência da temperatura do meio, Influência do pigmento e composição do alvo, Influência entre elementos sensor e a Característica de detecção espacial.

No **Capítulo 4 – Caracterização do espaço de trabalho** é desenvolvido um sistema capaz de elaborar um perfil do ambiente envolvente recorrendo a uma unidade de processamento.

No **Capítulo 5 – Conclusões e trabalho futuro** são desenvolvidas conclusões acerca do estudo elaborado nos capítulos anteriores. São também apresentadas sugestões de trabalhos futuros associados a esta dissertação.

2 Principais conceitos e revisão bibliográfica

2.1 Sensores de distância a obstáculos

Os sensores podem ser classificados como sensores passivos e sensores ativos.

Os sensores passivos são caracterizados por medirem a energia do ambiente, ou seja, qualquer tipo de energia seja ela luz solar, energia na região dos infravermelhos, micro-ondas ou outro tipo de energia. Já os sensores ativos providenciam a sua própria energia para executar a tarefa, normalmente estamos a falar de sensores que emitem uma radiação que será refletida e a receção dessa reflexão é o objeto de medição.

No entanto na área da robótica podemos abordar esta questão de uma maneira diferente. De acordo com R. Murphy [8] existem três tipos de sensores:

1. Sensores propriocetivos: fornecem informação interna do sistema, por exemplo, se uma pessoa estiver vendada, esta consegue através de proprioceção saber se tem o braço acima da cabeça ou abaixo desta. São exemplos destes sensores os odômetros.
2. Sensores exterocectivos: adquirem informações sobre o ambiente envolvente e objetos da área de medição, como a distância a objetos temperatura ambiente, etc. Exemplos destes sensores são os sonares e termómetros.
3. Sensores expropriocetivos: fornecem informação sobre a posição do sistema em relação ao ambiente envolvente. Ou seja, este tipo de sensores disponibilizam a informação do seu estado ou posição em relação ao espaço que ocupam, um exemplo são os sistemas baseados em GPS como se usa nos carros, onde a informação que é disponibilizada é a posição do carro relativamente ao resto do ambiente.

Comparativamente podemos associar 1 e 3 a sensores passivos e 2 a sensores ativos. No seguimento deste projeto pretende-se conceber um sensor que seja uma fusão de 2 e 3, isto é, um sensor que é capaz de adquirir informação sobre o ambiente envolvente.

Num sistema de deteção de presença, distancia ao objeto e seu perfil, como é o caso desta investigação, é preciso ter em conta que poderá existir uma variedade de condicionantes, desde objetos com formas diferentes, cores diferentes, texturas diferentes e até o material de que é feito o próprio objeto, isto juntamente com o pano de fundo da cena, a iluminação do local da deteção e até a própria temperatura ambiente pode influenciar o funcionamento destes sensores ou sistemas de sensores.

Por haver todas estas condicionantes é preciso considerar também alguns atributos dos sensores [8]. São estes:

1. Alcance e ângulo de visão;
2. Precisão, repetibilidade e resolução;
3. Recetividade por parte do objeto;
4. Consumo de energia;
5. Dimensão
6. Fiabilidade do hardware.

Começemos pelo alcance e ângulo de visão. Estes dizem respeito à distância máxima a que o sensor consegue fornecer informação fiável e à largura da região que o sensor consegue detetar (normalmente expresso em graus), respetivamente.

A precisão é o mínimo que se consegue medir com o sistema em questão, já a exatidão corresponde à diferença da leitura efetuada pelo sensor e o valor real, onde a quantidade de vezes que o sensor fornece uma igual leitura está associada à repetibilidade do sensor. A resolução de um sensor é a menor variação que este consegue detetar.

A recetividade por parte do objeto tem a ver com o comportamento de um sensor tem num ambiente em particular, isto é, por exemplo, se um robô tentar navegar num ambiente onde existem muitos espelhos e este usa um sistema de lasers para navegar, então o mais provável é o robô nem sair do lugar porque a reflexão vai criar um falso ambiente e enganar a “visão” da máquina, ou seja, o ambiente tem que permitir que o sinal do sensor seja detetado.

O Consumo de energia e o tamanho do sensor são cada vez mais fatores extremamente importantes, já que maior parte dos sistemas são alimentados por baterias e o tamanho destes quer-se o mais pequeno possível.

Quanto à fiabilidade do *hardware* é essencial ter em consideração que os sensores têm limitações físicas no seu funcionamento. Por exemplo, no caso de estudo da presente dissertação o sensor produz leituras incorretas quando a fonte de tensão não é contínua e estável.

É importante considerar todas estas condicionantes pois dependendo do uso que se dá ao sensor e as variáveis do ambiente envolvente este pode ser mais ou menos adequado. Assim, é

essencial perceber que sensores existem e que atributos têm cada um deles por forma a decidir qual utilizar de acordo com as necessidades e objetivos do projeto.

O interesse desta investigação recai nos sensores do tipo exteroceptivo, pois é recorrendo a este tipo de sensor e às suas capacidades de medição que se pretende obter informação, tanto sobre a distância e proximidade a um objeto na cena como o ambiente envolvente.

Existem vários sensores que se enquadram neste tema e que, eventualmente, podem ser usados para responder a questões que se levantam com esta investigação. Segundo [1] podemos mencionar alguns sensores que se destacam na resolução deste tipo de problema, são estes, câmeras e sensores de imagem, sensores baseados em US, sensores laser e LIDARs, sensores baseados em IR e ainda sensores de contacto (*bump sensors*). À partida, e pelos sensores apresentados, percebemos que os sensores apresentam diferentes tecnologias.

2.1.1 Sensores de Contacto

Começando pelos sensores de contacto estamos perante um tipo de sensor que requer contacto direto com o objeto em estudo para fazer uma caracterização do mesmo ou apenas detetar o objeto, apesar de ser um sensor que tem a capacidade de inferir o perfil do objeto este tem a limitação da distância ao objeto.

Este tipo de sensor é vastamente usado na robótica atual, não só como sensores de embate, como é normalmente interpretado, mas também como sensores onde o principal objetivo é aproximar ao máximo a noção de toque que os seres humanos detêm e projetar essa característica num sistema robótico que possa, por exemplo, agarrar objetos e adaptar a sua manipulação ao tipo de objeto ou até inferir com qual objeto está em contacto[9]–[11]. No entanto este tipo de sensor não possibilita o cálculo da distância ao objeto em questão, pois só quando entra em contacto é que começa a perceber. Já a caracterização do objeto é possível através do uso de uma esponja de borracha elástica, por exemplo, onde a pressão exercida nessa plataforma pelo objeto é medida, e é através da variação dos valores obtidos que se obtém uma imagem do objeto “sentido”[10].

Os resultados obtidos são bastante satisfatórios havendo uma taxa elevada de acertos aquando a classificação, o que mostra uma elevada precisão, no entanto é preciso cerca de 20 repetições para alcançar um nível de precisão elevado [10]. Este método é um método que tem uma elevada recetividade por parte dos objetos estudados por este, pois é independente dos fatores externos ao objeto.

2.1.2 Câmara

Já as câmeras são sensores que são muito utilizados na robótica para a inferir e localizar objetos no espaço, pois a saída assemelha-se ao que o humano percebe do espaço. Estas implementações estão normalmente divididas em dois grupos, as câmeras stereo e as câmeras monoculares.

As primeiras são as mais usadas porque tornam possível, e mais rápido, um cálculo mais preciso da profundidade ou distância a um objeto da cena usando o conceito de disparidade [12]. Neste tipo de aplicações costuma-se usar dois tipos de disposição da câmara, em paralelo, que é semelhante ao sistema de percepção visual dos humanos, ou em cruzado [13].

Por outro lado as câmeras monoculares apesar de poderem ser utilizadas para o cálculo da distância a um objeto estas ficam limitadas a uma distância de medição menor, pois ao aumentar a distância de um objeto à câmara o tamanho do objeto diminui e daí diminuir a possibilidade de fazer uma correta leitura da distância, como podemos observar na experiência realizada em [14].

Comparativamente a outros métodos a câmara proporciona um bom método para fazer a caracterização do ambiente envolvente, tendo como uma óbvia desvantagem o cálculo da distância ao objeto, que apesar de ser facilmente contornada, introduz a necessidade de processamento de informação o que pode levar a um atraso na entrega dessa informação em tempo real.

Estes sensores têm um bom ângulo de captura que, dependendo do tipo de câmara, pode atingir 360°, e bom alcance e precisão sendo estes fatores dependentes, não só, mas também, dos algoritmos usados nos cálculos de distância e deteção dos objetos. Um dos problemas destes sistemas é a dependência de boa iluminação do espaço de trabalho, pois o *software* é altamente dependente da qualidade da imagem. Contudo conseguem ser mais baratas que os sistemas de laser tendo apenas uma distância de percepção menor. E ainda são baixos consumidores de energia.

2.1.3 Sensores Laser e LIDARs

No caso dos sensores baseados em laser, estes emitem um impulso laser que, dependendo do sensor, é usado para medir a distância através do tempo de percurso (TOF- "*time of flight*") ou por triangulação.

Sensores laser baseados em triangulação são usados quando se requer velocidade, alta tolerância a luz ambiente ou grande alcance, já os baseados em TOF são frequentemente usados para grandes estruturas e medições de longa distância [15] e são normalmente designados na nomenclatura inglesa por "*range finder*".

Existem dispositivos baseados em laser em que a direção do feixe é variada em torno de um, ou dois, eixos de rotação (LIDAR). Estes dispositivos permitem realizar a digitalização do perfil envolvente em representação 2D ou 3D.

É possível com estes sensores fazer a caracterização do meio ambiente em que este se insere e ainda calcular a distância a objetos.

Quando o cálculo da distância é feito baseado no TOF este é pouco preciso para distâncias muito curtas, pois a distância é calculada através da diferença entre feixes refletidos [16], por essa razão, dependendo do sensor e ao contrário dos sensores de contacto, a medição deve ser feita a partir de uma certa distância para ser considerada correta.

Essa distância mínima de medição pode variar entre 2cm (máxima de 120m), para um sensor com um preço de 40000USD (Velodyne HDL-64E [17]), e uma distância mínima de 5cm (máxima de 30m), a um preço mais “acessível” de 4000USD (SICK LMS 200 [18]), sendo que ambos apresentam um ângulo que pode chegar aos 360°. Com isto podemos concluir que é uma tecnologia bastante dispendiosa mas que comparativamente a câmeras estes sensores são mais precisos na detecção de objetos como mostra Ya-Wen Hsu em [19] e ao contrário das câmeras não são comprometidos por falta de iluminação [20].

Na caracterização do ambiente envolvente esta tecnologia é também bastante usada. Os resultados obtidos pelo uso destes sensores são muito satisfatórios como podemos concluir por [21][22][23], no entanto, e segundo [21], os lasers 3D de medição de distância atuais só podem ser usados para modelação estática levando cada medição cerca de 0.5 segundos a feita, e ainda existe o problema de oclusão podendo ser facilmente contornado como é referido em [24] usando dois ou mais lasers, o que leva a um aumento de preço do sistema de sensores. Já o consumo de energia varia e as dimensões são semelhantes às que reportam [21][22].

Ou seja, recorrendo à enumeração feita anteriormente acerca dos atributos de um sensor podemos concluir que estes sensores têm um bom alcance e um ângulo de visão que passa facilmente dos 180°, são precisos e com boa resolução, consomem mais energia quanto melhores forem as características (quanto maior o número de canais por exemplo), e têm um tamanho considerável maiores comparativamente a câmeras ou sensores baseados em US de características equivalentes.

2.1.4 Sensores por ultrassom

Bastante usados na detecção de objetos são também os sensores baseados em US que usam o método de medição de distância TOF, que como referido anteriormente, consiste em calcular o tempo que o impulso leva a sair do transmissor, colidir com o objeto e voltar para o recetor.

Este tipo de sensor é condicionado por certos fatores como a temperatura, humidade, ruído ambiente, pressão e outros como demonstra [25] e conclui que se houver um aumento da temperatura existe uma diminuição da velocidade do som, e por conseguinte um aumento na distância calculada. Outra desvantagem é o facto do impulso emitido ter um ângulo de cerca 20°~50° o que leva a uma fraca resolução angular, no entanto tem uma boa resolução em profundidade e perpendicularmente ao feixe do sensor [26].

Apesar de um sensor como o sensor HC-SR04 ter uma distância de medição nos intervalos de 2cm-4m e ser mais barato que sensores infravermelhos da mesma gama de funcionamento. Este tem uma grande desvantagem quando a medição é feita num ambiente interior e recorrendo apenas a um sensor baseado em US, como refere [26], pois usando um sensor ultrassónico existe a possibilidade deste receber múltiplas reflexões de um mesmo impulso emitido, caso que acontece frequentemente em cantos de paredes.

Claro que, mais uma vez, o problema pode ser resolvido recorrendo a mais sensores, no entanto torna-se muito difícil fazer uma caracterização do espaço envolvente tendo o impulso emitido uma grande abertura angular, o que resulta em uma precisão baixa quando se quer obter o perfil do objeto detetado.

No entanto existem sensores deste tipo que, de certa forma, tentam resolver o problema de ecos atrasados, isto é, o sensor Devantech SRF08 [27] faz uso de um registo analógico de ganho com o propósito de fazer o sonar disparar mais rápido do que os seus habituais 65ms, isto porque se a distância ao objeto for muito curta uma nova medição pode começar assim que a anterior for lida. Isto pode originar numa segunda leitura a receção de um eco do “ping” anterior e fazer parecer que existe um objeto perto quando não há. Este sensor permite então diminuir o ganho máximo para diminuir a sensibilidade a ecos distantes mantendo a possibilidade de detetar objetos próximos.

Em suma, este tipo de sensor é barato e adequado quando se pretende detetar objetos e calcular a distância aos mesmos, mas falha quando é necessária a caracterização desses mesmos objetos.

2.1.5 Sensores baseados em IR

Outro tipo de sensor que é bastante utilizado num contexto de medição de distância a um objeto é o sensor baseado em IR, e é neste tipo de sensor que esta investigação se apoia. Há claramente vantagens e desvantagens quando se escolhe um sensor para qualquer que seja o uso que se dá ao mesmo, nesta investigação não é diferente.

Os sensores de medição de distância por IR existentes baseiam-se em um de dois métodos, ou por triangulação, que é o caso do sensor utilizado nesta investigação [7], ou pela medição da intensidade da energia refletida pelo obstáculo.

No caso do segundo princípio mede-se a intensidade da energia que depois de emitida pelo LED infravermelho é refletida pelo objeto. Como tal o sinal recebido por este tipo de sensor de medição por IR está dependente da energia emitida pelo LED e pela resolução do foto-díodo recetor [28][29]. Por essa mesma razão este tipo de sensor fica limitado pelas características físicas do mesmo, e ainda pelo obstáculo alvo da medição, pois como estamos perante um tipo de sensor que mede a distância a um obstáculo calculando a energia recebida esta pode sofrer alterações. Um exemplo seria se a superfície onde o feixe infravermelho é suposto refletir comporta-se como um espelho, e refrata a luz, nessa situação o feixe refletido pode nunca chegar ao recetor do sensor e assim não ser detetada a superfície [30].

Neste tipo de funcionamento estamos perante uma situação onde a intensidade do feixe pode variar dependendo de outros fatores como a cor da superfície incidente ou até o material de que é composto. Um estudo feito neste contexto provou que o índice de reflexão de um objeto e até a cor do mesmo influencia a taxa de energia refletida pelo objeto [31].

Este tipo de sensor porém oferece algumas vantagens, sendo elas o custo reduzido comparativamente a outros tipos de sensores da mesma gama de medição, a reduzida abertura do feixe emitido que, comparando aos sensores baseados em US, oferecem uma melhor precisão, por exemplo, se uma porta estiver aberta um sensor ultrassônico tendo um ângulo de abertura de medição grande pode perceber que é apenas uma parede pois apanha as paredes laterais à porta, já o sensor infravermelho dificilmente errava nessa situação, e ainda são fáceis de implementar.

Os sensores de medição de distância por IR baseados no princípio da triangulação têm um funcionamento diferente. Estes já não dependem absolutamente da intensidade da energia refletida, baseiam-se sim no ângulo que o feixe refletido faz com o recetor. Dependendo desse ângulo a distância ao objeto é medida através de fórmulas trigonométricas, usando o ângulo medido e a distância entre o recetor e o emissor[4][30], a Figura 2.1 ilustra este princípio.

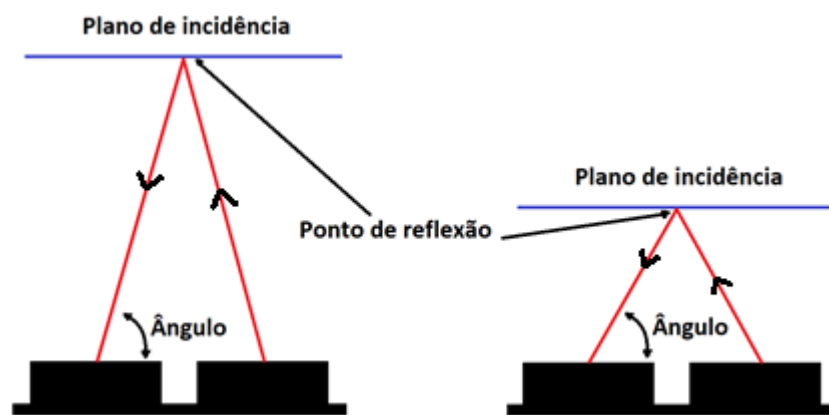


Figura 2.1 – Esquema de funcionamento de um sensor baseado em triangulação

Sensores baseados em triangulação oferecem a vantagem de não serem altamente dependentes da cor do plano incidente, no entanto têm alguma dependência como foi provado em [32][33], e logo é um fator de estudo caso se pretenda um sensor com boa precisão. São também bastante usados pelo seu rápido tempo de resposta, mais rápidos do que os sensores ultrassônicos pois estes viajam à velocidade do som enquanto os sensores baseados em IR viajam à velocidade da luz [28][31].

No entanto, neste tipo de sensores, é de notar que o facto de se usar como método de medição o princípio da triangulação resulta numa diminuição do alcance do sensor assim como uma diminuição da precisão da medição angular devido a superfícies altamente absorventes ou espelhadas [3][30]. Isto diz-nos que o tipo material e a textura da superfície influenciam as medições feitas.

2.2 Escolha do sensor

O sensor que se procura utilizar nesta investigação tem que ser capaz de medir uma distância a um obstáculo, ser barato, ter uma rápida taxa de aquisição dos dados e ainda ser possível com este fazer uma caracterização do ambiente de trabalho.

Para escolher o tipo de sensor que se vai utilizar nesta investigação é preciso perceber qual o melhor que se ajusta aos requisitos em questão. Na seguinte tabela pretende-se ter termos de comparação entre tipos de sensores que fazem sentido para o projeto e as suas características para assim perceber qual a melhor opção. Selecionou-se apenas algumas características pois são as que se consideraram mais importantes de acordo com o objetivo previsto.

Tabela 2.1 – Tabela de comparação entre vários sensores

Dispositivos/Sensores	LIDAR	Rangefinder	US	IR	Câmara
Modelo	RPLIDAR A1M8*	LIDAR-Lite 3	HCSR04	GP2Y0A60	Pixy CMUcam5
Alcance	50cm – 600cm	0m-40m	2cm – 400cm	10cm – 150cm	N/A
Resolução	<1% da distância	1cm	3mm	N/A	1280x800 pixéis
Ângulo de medição	0° – 360°	N/A	30°	?	75° Vertical 47° Horizontal
Dimensões (mm)	97x51x56	20x48x40	45x20x15	22x8x7.2	53x51x14
Frequência de amostragem	≥2 000 Hz	500Hz	6 600 Hz	200 Hz	50 Hz**
Preço (USD)	\$199.00	\$129.00	\$4.49	\$10.86	\$67.00

*Lidar de qualidade questionável, vida útil do sensor é algo ainda em estudo. Para utilização industrial os preços destes sensores começam nos \$4000 com SICK LMS 200 (por exemplo).

** Esta frequência é apenas de amostragem de imagem. Para usar uma câmara para medir a distância a objetos é necessário processamento por *software*, o que leva a um aumento do tempo de amostragem da distância ao objeto.

Neste tipo de sistemas procura-se eficiência e precisão, que forneçam informação em tempo real, de baixo custo e compactos, mas também seguros. Todas estas características fazem parte de um sistema quase que perfeito, no entanto as soluções existentes têm os seus compromissos entre estes fatores.

Observando os termos de comparação e as especificações dos vários sensores mencionados, chega-se à conclusão que em termos de qualidade/preço e ângulo de visão adequado à proposta de caracterização 2D do espaço, o sensor de medição de distância baseado em IR é o que se adequa mais às circunstâncias, não esquecendo que como objetivo há ainda a caracterização deste mesmo sensor.

O elemento sensor utilizado nesta investigação é o GP2Y0A60 da Sharp. Este baseia-se no princípio da triangulação, tal como é referido no Datasheet associado [7].

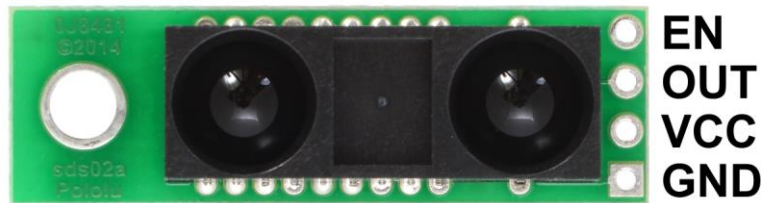


Figura 2.2 – Elemento sensor infravermelho (GP2Y0A60).

2.3 Caracterização do elemento sensor e criação de um sensor

É preciso nesta fase começar a distinguir a nomenclatura utilizada.

Para fazer referência ao sensor quando este ainda não é acompanhado por um *software* que traduza o seu output numa distância ao objeto, será daqui em diante denominado de ‘elemento sensor’. Já fazendo referência ao sistema capaz de efetuar medições de distância será daqui em diante denominado de ‘sensor’.

Não obstante às características mencionadas na Tabela 2.1, existem outras que como já vimos podem comprometer o bom funcionamento do sensor baseado em IR, e como se pretende aprofundar o conhecimento acerca do elemento sensor, quer-se ver estudadas algumas características para assim perceber de que forma certos fatores influenciam, num contexto real, as medições efetuadas.

Antes é ainda necessária a categorização das várias etapas que o elemento sensor irá passar. Em primeira instância temos apenas um aparelho de medição que usando o princípio da triangulação devolve um valor de tensão associado à distância a que este se encontra da superfície refletora, daqui em diante denominado de elemento sensor. Depois de se estudar a relação entre a

tensão devolvida pelo elemento sensor e a distância ao objeto obtém-se um sensor de medição de distância, juntando vários destes sensores obtemos um sistema de sensores capazes de fornecer informação sobre a distância de cada um deles a uma superfície, o que pode facilmente levar a uma fusão de informação que permita a caracterização do meio envolvente.

Para passar de um elemento sensor, que apenas disponibiliza uma tensão, para um sistema sensorial que permita caracterizar o ambiente envolvente é preciso passar por alguns passos experimentais. Testou-se algumas características que poderiam influenciar as medidas, tais como:

- Luminosidade;
- Pigmento do alvo;
- Composição/Material constituinte do alvo;
- Distância ao alvo;
- Posição do objeto no horizonte (ângulo segundo a perpendicular ao sensor);
- Temperatura;
- Influência de outros sensores IR;
- Característica de deteção espacial.

Estas características, que podem ser também condicionantes de uma boa medição, serão estudadas para que se possa fazer a caracterização de um sensor baseado em IR que facilmente se generalize para todos os outros sensores do mesmo tipo.

No entanto existe um processo importante nesta fase, e este corresponde à validação e processamento dos dados que são gerados, onde se junta o elemento sensor e um elemento de processamento de informação para criar um sensor capaz de efetuar a medição de uma distância. Ou seja, tendo um elemento sensor que disponibiliza à saída uma tensão associada à distância a que o sensor está do objeto, esta tensão tem que ser processada e traduzida em uma distância medida e uma certa fiabilidade associada. A seguinte figura procura esquematizar este processo.

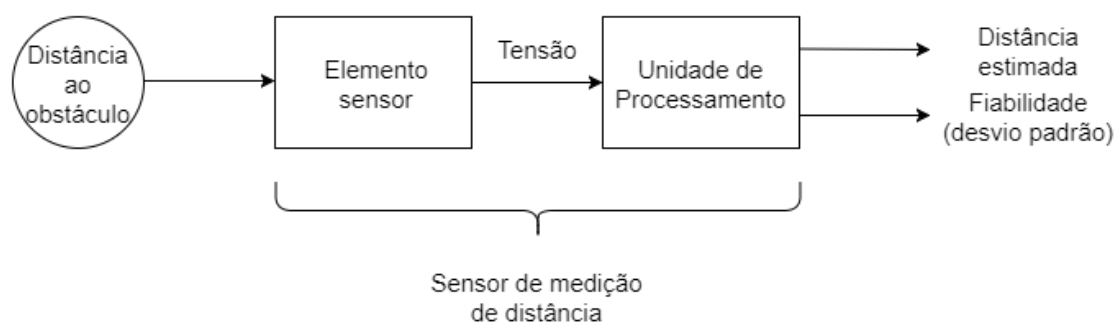


Figura 2.3 – Esquema de funcionamento da unidade elemento/unidade de processamento.

Para se traduzir um valor de tensão numa distância é necessário introduzir um nível de confiança nesse valor, e isso só é possível através da recolha de várias medições num curto espaço de tempo a uma mesma distância. Desta maneira estaremos a atribuir a uma distância real vários

valores medidos de tensão, de notar que o sensor apresenta uma repetibilidade relativamente baixa. O que nos leva a recorrer a métodos estatísticos para calcular o valor mais provável da distância real.

Inicialmente é necessário perceber de que modo se relaciona a tensão de saída do elemento sensor e a distância real. Para isso é necessária a colheita de uma amostra significativa de medições da tensão de saída do sensor quando se coloca um obstáculo a uma distância conhecida.

Sabe-se que a frequência de amostragem é de 60hz ou uma medição por cada 17ms, o que facilmente se traduz em 0.83s por cada 50 medições, isto para dizer que é possível recolher 50 medições em pouco menos de 1 segundo o que já é uma quantidade significativa de dados que podem ser usados para calcular de alguma forma a distância a que está o objeto.

Recorrendo, por exemplo, ao cálculo da média dos valores obtidos obtém-se um único valor associado a uma distância real, no entanto existe um grau de dispersão de probabilidade em torno dessa média, ao que podemos chamar de intervalo de confiança e que corresponde à variância do valor [34].

Com a média de valores e a variância que estes podem tomar é possível construir um gráfico que relacione a distância medida e a media dos valores de tensão de saída do elemento sensor, e que teoricamente é semelhante à curva que se encontra no Datasheet do sensor representada na Figura 2.4.

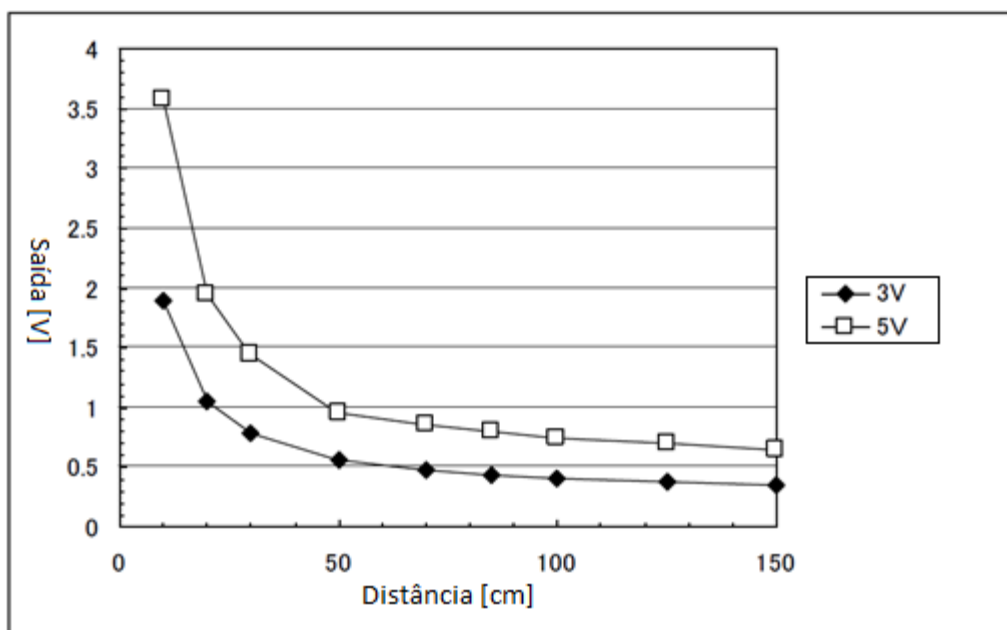


Figura 2.4 – Curva que relaciona a tensão medida e a distância real ao objeto. Retirado de [7].

Obtida uma curva característica é possível encontrar uma função que relacione a distância com a tensão e se aproxime desta curva. Esta tarefa pode ser executada recorrendo a uma regressão, que não é nada mais que arranjar um modelo que possa representar matematicamente, de

certa forma, o comportamento de uma variável aleatória de interesse [35]. Neste caso a variável aleatória é o valor da tensão, e a variável dependente é a distância.

Ao obter-se um modelo que se ajuste ao problema, mas que não se ajuste demais, e uma variância associada, tem-se uma função que devolve a distância e a precisão associada, respetivamente. Isto é, a função calculada que se aproxima do comportamento observado na figura anterior tem como solução a distância estimada, e a cada valor de distância obtêm-se um valor de precisão associado.

É este cálculo estatístico que possibilita avançar para o estudo de todas as outras condicionantes mencionadas.

Como se pode verificar pela figura anterior (Figura 2.4) a relação entre a tensão e a distância não é linear, o que nos leva a prever que a dispersão também varie com a distância.

Sabe-se que existe dois tipos de erros, os erros sistemáticos, que estão associados a erros humanos, seja no método de medição ou erro de calibração dos sensores, e os erros aleatórios, sendo que estes podem estar associados com a precisão do instrumento de medição [36]. Os erros aleatórios são erros que se alteram cada vez que se faz uma medição, onde a média de várias medições vai sempre melhorar a precisão, isto é, a precisão é uma medida de ruído aleatório.

Num exemplo dado em [37] podemos concluir que se tirarmos medições consecutivas de um atributo, sabendo o valor que a medição deveria tomar na realidade, essas medidas são expectáveis de seguir o Teorema do Limite Central e seguirem uma distribuição normal. O que nos leva a que a média ocorra no centro da distribuição e esta representa a melhor estimativa do valor real com base nos dados recolhidos, tendo ainda o desvio padrão que representa a variação entre medições consecutivas.

Em [33] é mostrada uma alternativa onde os sensores são dispostos numa matriz 3x3, onde mais uma vez se junta os vários valores medidos pelos vários sensores de modo a aproximar, com mais precisão, do valor de distância real.

Por fim e testadas as várias condicionantes, pretende-se usar os dados recolhidos para criar um sensor de medição de distância capaz de a partir de várias medições criar, por exemplo, uma nuvem de pontos que permita de certa forma fazer uma caracterização 2D do espaço. Notar que estas medidas inicialmente podem ser tiradas numa plataforma estática.

3 Caracterização do elemento sensor

Com a decisão de utilizar o elemento sensor de medição de distância por infravermelhos da Sharp (GP2Y0A60SZ0F) veio a necessidade de perceber o funcionamento do mesmo, para avançar nesta investigação é essencial perceber as condicionantes do funcionamento e características do elemento sensor em questão.

Fatores como a luminosidade do meio, cor do alvo, composição/material constituinte do alvo, posição do alvo relativamente à perpendicular do feixe IR emitido, a temperatura do meio, a característica de deteção espacial e claro a distância ao alvo, são apenas alguns fatores dentre outros tantos possíveis que poderiam e podem influenciar o funcionamento do elemento sensor.

No entanto estes foram escolhidos por duas razões, pelo facto de que na bibliografia é frequentemente referido que alguns destes fatores influenciam o funcionamento do elemento sensor, mas também porque nestes mesmos documentos não é apresentada uma razão para este facto ou em que proporção estes fatores influenciam realmente o funcionamento deste tipo de elemento sensor em particular.

Tentou-se perceber como estes fatores influenciavam os valores de tensão que o elemento sensor disponibilizava, e por ordem de ideias começou-se pelo fator base, a distância ao alvo.

Este teste foi feito com base nos pressupostos que se encontram por toda a bibliografia e que indicam que um alvo plano de cor branca (eg. Folha de papel branca) é o alvo que apresenta melhor reflexão do feixe IR. Consequentemente este alvo apresenta um maior valor de tensão medido à distância mínima de deteção de 10cm [31]. Por esta razão os resultados desta experiência serão usados como referência nos posteriores testes.

Antes de começar qualquer medição e teste foi necessária a montagem do espaço de trabalho e dos componentes que iriam ser usados.

Nos ensaios preliminares realizados verifica-se que a fiabilidade dos resultados produzidos pelo elemento sensor é significativamente afetada pela qualidade da tensão de alimentação (5V). Por esta razão foi necessário o uso de um regulador de tensão que se estabiliza nos 5 volt com uma fonte de tensão superior, isto para permitir o uso de fontes de alimentação de 9 volt ou 12 volt.

O circuito usado para o regulador foi o seguinte:

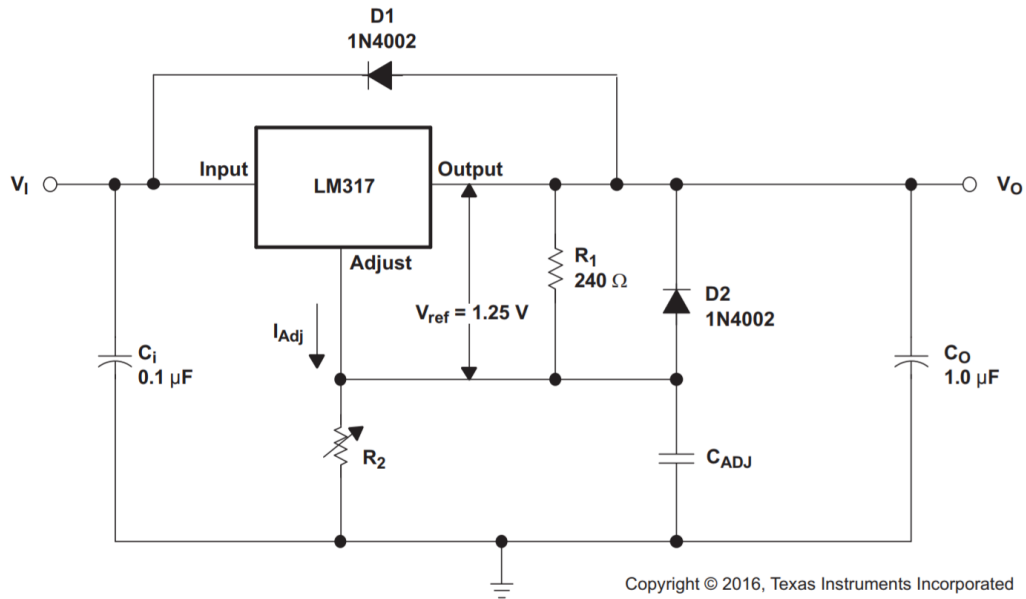


Figura 3.1 – Circuito usado para regular a tensão de alimentação do elemento sensor. Retirado de [38].

Com uma fonte de alimentação estável nos 5 volt e sem oscilações verificou-se que os dados recolhidos já eram os esperados comparativamente à indicação de funcionamento no catálogo do elemento sensor.

Para fazer a recolha de dados do sensor escolheu-se utilizar um Arduino UNO juntamente com o *software* Microsoft Excel por forma a tratar os dados recolhidos, e assim, através do cálculo da média de 150 valores recolhidos nas mesmas condições e respetiva variância, determinar as características da medição efetuada. Foram recolhidas 150 amostras e calculada a média destes valores pois assume-se inicialmente que o valor mais próximo do valor real é o “valor central”, isto é, se a distribuição dos valores medidos for aproximada a uma curva Gaussiana então o valor médio será o mais próximo do valor real [37]. Esta foi uma suposição sendo que o comportamento do elemento sensor tornava expectável esta convergência.

Em anexo encontra-se o código .ino, correspondente ao programa utilizado para adquirir os dados.

Na seguinte tabela encontram-se as características que se retiraram da aquisição de 150 valores com um alvo a 80cm de distância do elemento sensor.

Tabela 3.1 – Exemplo da tabela utilizada para retirar informação dos dados recolhidos do sensor.

80cm	
150 Amostras	Tensão [V]
Média harmónica	0,870658107
Média aritmética	0,870666667
Desvio padrão	0,002748737
Variância	$7,55556 \times 10^{-6}$
Máximo	0,89
Mínimo	0,87

Estas foram as características fundamentais e utilizadas para a caracterização do elemento sensor, e para assim perceber como cada um dos fatores pode influenciar o funcionamento deste.

3.1 Distância ao alvo – Calibração do sensor

A ideia inicial consistiu em colocar um alvo à frente do elemento sensor. Vários aspetos do funcionamento do elemento sensor foram verificados ao iniciar este primeiro teste, e que levaram à execução das seguintes observações.

A primeira observação foi que o elemento sensor tem que estar a uma determinada altura do solo para que não exista interferência deste nas medições efetuadas, mais a frente aprofundar-se-á o porquê deste acontecimento.

A segunda observação foi a de que alvos diferentes colocados na mesma posição originavam valores diferentes. Ou seja, as dimensões do alvo influenciam os resultados obtidos. Isto leva a inferir que o feixe emitido pelo elemento sensor não é apenas uma linha de IR mas sim um feixe que ocupa uma certa área. Mais uma vez este fator será analisado mais à frente. Ainda no seguimento desta conclusão verifica-se que a cor e o material constituinte do alvo é um fator que influencia as medições.

Para efeitos deste teste usa-se um alvo grande, suficiente para que este fator não seja mais uma variável para o teste em questão. Coloca-se um alvo com uma superfície plana e branca de dimensão 30cm x 40cm (L x A). Tanto a bibliografia como o catálogo do elemento sensor indicam que este é o alvo que permite obter uma maior reflexão do feixe IR e resultados com uma menor variância.

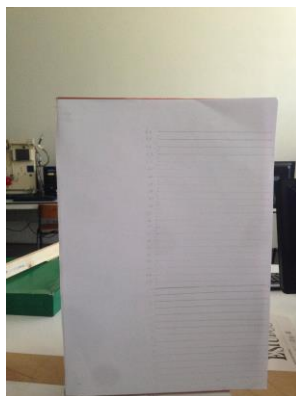


Figura 3.2 – Alvo usado para o primeiro teste.

Procedeu-se ao registo dos valores que o elemento sensor disponibiliza quando é colocado um alvo na sua direção. Foi colocado um alvo à distância de 10cm até 110cm, em intervalos de 5cm. O objetivo desta experiência consistiu no registo dos valores que o elemento sensor disponibiliza em cada situação, e com isso criar uma relação entre a distância e esse valor disponibilizado.

A montagem utilizada apresenta-se na figura seguinte. Pode-se observar que existe uma escala que permite colocar o alvo à distância pretendida e assim ir registando os valores de tensão que o elemento sensor disponibiliza consoante as distâncias a que se coloca o alvo.



Figura 3.3 – Montagem utilizada para o cálculo da relação entre a tensão disponibilizada pelo elemento sensor e a distância ao alvo.

Na tabela seguinte é apresentada a sequência de valores registados para cada distância a que se coloca o alvo.

Tabela 3.2 - Valores registados consoante a distância ao alvo.

Distância em cm	Tensão [V]	Desvio padrão do valor de tensão
5	4,138187439	0,007217571
10	3,352519011	0,006946142
15	2,449713907	0,006923069
20	1,936679079	0,010295414
25	1,648570163	0,007026616
30	1,451117441	0,004835517
35	1,322831533	0,006864077
40	1,221640413	0,005705748
45	1,141045755	0,004918898
50	1,081184283	0,004150502
55	1,030763525	0,006166577
60	0,982095176	0,00617378
65	0,949495253	0,006037292
70	0,911175756	0,004749737
75	0,885054768	0,008385437
80	0,870658107	0,002748737
85	0,847349165	0,010012437
90	0,825322255	0,008052329
95	0,805206376	0,010241528
100	0,786832195	0,011647603
105	0,775205963	0,009910712
110	0,759549432	0,006205374

Os valores apresentados na Tabela 2 determinam a relação entre a distância e a tensão disponibilizada à saída do sensor, o que neste caso representa o que se pensou ser o melhor caso possível estando reunidas todas as condições favoráveis para o cálculo. Pode observar-se na tabela que foi feita a experiência para uma distância de 5 cm, no entanto é um resultado meramente informativo que mostra que é possível fazer medições abaixo dos 10cm, contrariamente ao dito no catálogo do elemento sensor.

Usando a informação da Tabela 3 criou-se um gráfico representativo da relação entre a tensão à saída do elemento sensor e a distância real do elemento sensor ao alvo. O gráfico encontra-se representado na Figura 3.4 onde se pode observar uma curva semelhante à encontrada no catálogo do sensor e representada na Figura 2.4.

Relação entre a distância ao obstáculo e a tensão de saída do sensor

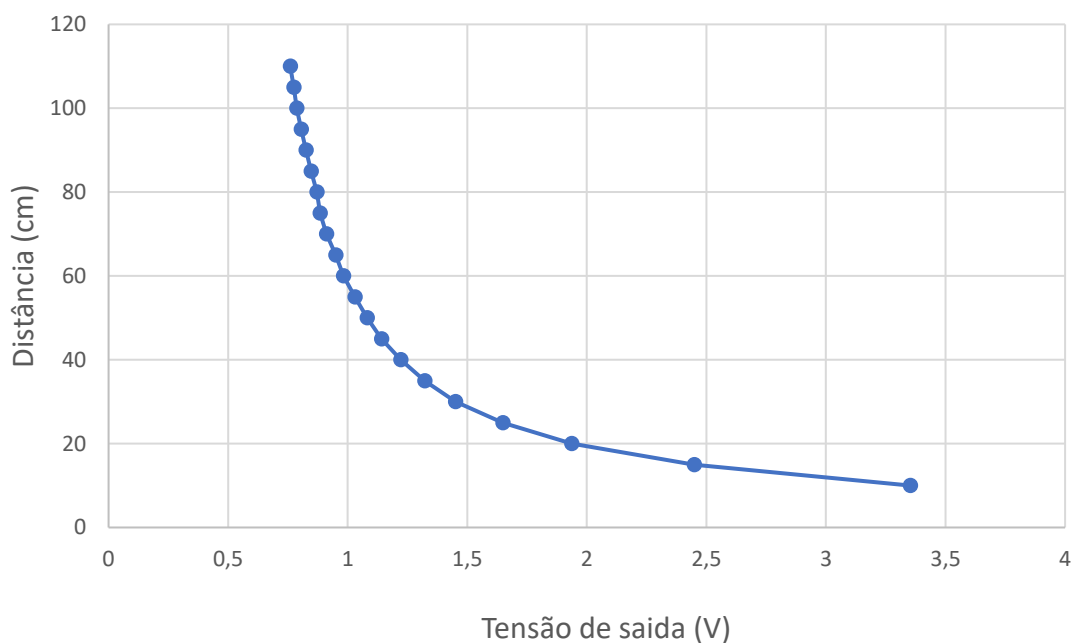


Figura 3.4 – Relação entre a distância ao obstáculo e a tensão de saída do sensor.

Ou seja, entende-se com este resultado que a caracterização do sensor face à relação entre a tensão e a distância ao alvo está correta. Utilizou-se este resultado como base de comparação para todos os outros fatores que serão estudados mais à frente, pois este será considerado como o resultado ótimo.

No entanto o resultado desta relação torna complicada a aproximação dos valores encontrados a uma função. Por isso, procedeu-se à inversão dos valores de distância para assim linearizar os resultados obtidos. O gráfico da Figura 3.5 mostra o resultado obtido por esta inversão, observa-se também no gráfico a função aproximada encontrada.

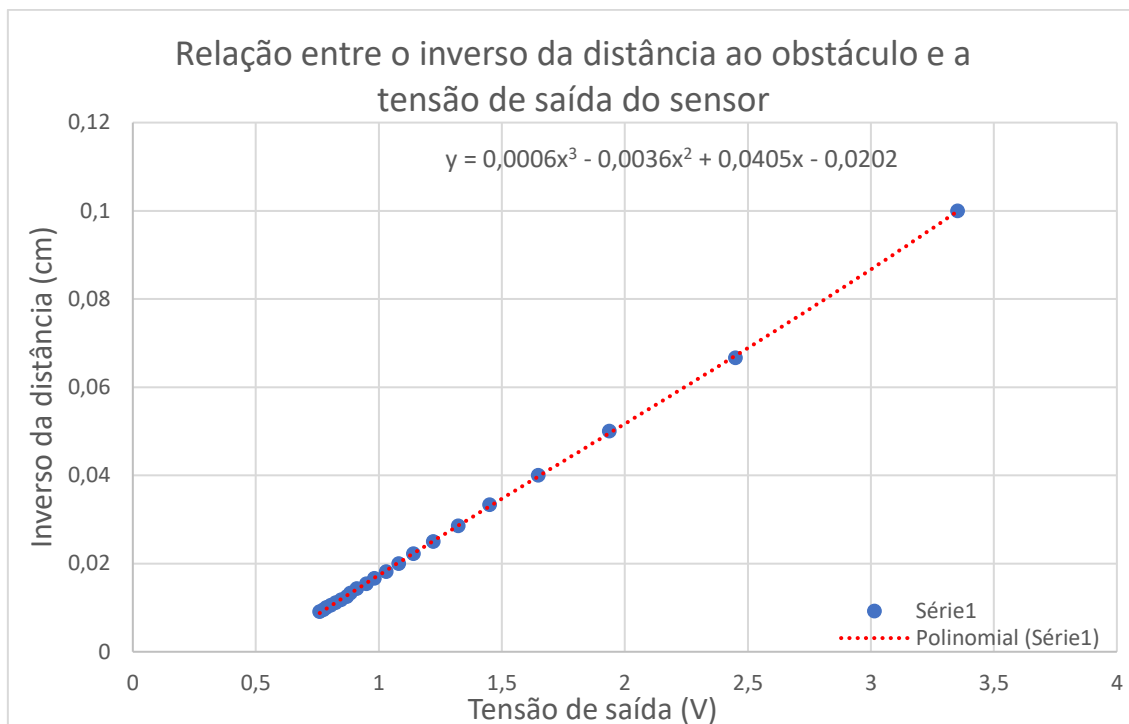


Figura 3.5 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor.

Este resultado será utilizado no próximo capítulo para através dos valores de tensão disponibilizados pelo elemento sensor estimar o valor de distância real a que está o sensor do alvo.

A partir do gráfico da Figura 3.5 constata-se que para distâncias menores observa-se uma curva que pode ser facilmente aproximada a uma reta. Já para distâncias maiores a aproximação por uma reta não é adequada e por isso aproximou-se todo gráfico a uma equação de 3º grau.

$$y = 0,0006x^3 - 0,0036x^2 + 0,0405x - 0,0202 \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

$$\text{Distância estimada} = \frac{1}{y} \quad \text{Equação 2}$$

Como já foi referido anteriormente, o elemento sensor tem uma repetibilidade relativamente baixa à qual está associada uma certa variabilidade. Por conseguinte, os valores que correspondem a uma certa distância estão num certo intervalo ao qual se dá o nome de desvio padrão, ou seja, o valor de dispersão em relação à média.

3.1.1 Calibração do elemento sensor

Após a execução dos passos da secção 3.2 até à secção 3.4, que foram feitos num espaço de tempo de cerca de 1 mês, verificou-se que passado esse mês os valores de tensão registados já não eram os mesmos. Este facto levou a assumir que algo mudou. Sendo que as condições de teste não mudaram atribuiu-se o sucedido a outro fator desconhecido. Exemplos do que pode ter sucedido são, a mudança de humidade no meio, infiltração de pó ou alteração das características do próprio sensor.

Este problema foi contornado através da criação de um processo de recalibração simples que permite manter a fiabilidade e precisão do sensor ao longo do tempo.

O processo de recalibração consiste em recolher apenas os valores de tensão em 7 pontos ao longo de uma distância de 85cm. Foi feita a recolha de 150 valores de tensão em cada uma das sete posições. Na Tabela 3.3 observa-se os pontos necessários para efetuar a recalibração.

Tabela 3.3 – Tabela de valores de tensão recolhidos para a o processo de calibração.

Distância [cm]	Tensão [V]	Desvio padrão do valor de tensão
20	1,99284062	0,007242161
40	1,232161892	0,006915683
60	1,010120495	0,003649049
80	0,885687914	0,010017984
85	0,851819902	0,851866667
90	0,832650644	0,008398148
95	0,814688297	0,009572182

Apenas com estes valores é possível criar uma regressão polinomial de tal forma que os valores de tensão registados correspondam fielmente à distância real. Na Figura 3.6 encontra-se em linha tracejada vermelha a função que através dos valores de tensão determina a distância ao alvo. A linha azul contínua é a representação visual da curva que liga os valores de tensão retirados.

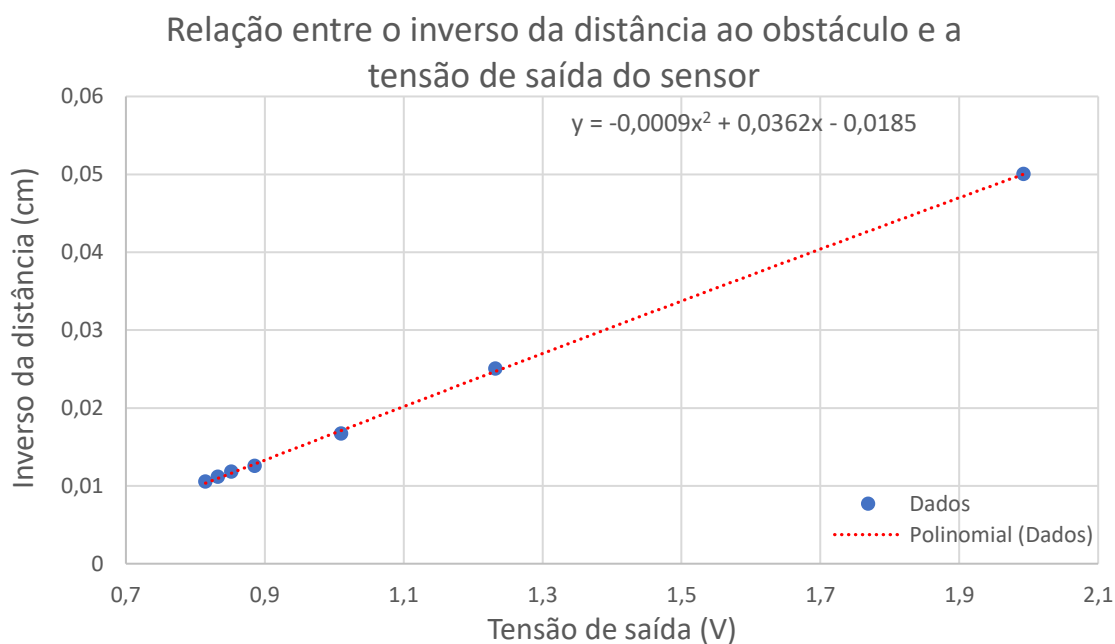


Figura 3.6 – Gráfico da relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor após recalibração.

$$y = -0,0009x^2 + 0,0362x - 0,0185 \quad \text{Equação 3}$$

Contudo verificou-se que para distâncias maiores a regressão polinomial encontrada não traduzia com precisão a distância real ao alvo.

Assim, dividiu-se a curva em duas outras curvas. A primeira corresponde aos valores entre 10cm e 80cm. A segunda corresponde aos valores de 80cm até 100cm.

Na Figura 3.7 e na Figura 3.8 constata-se que as curvas são mais ajustadas à curva dos valores reais de distância.

Relação entre o inverso da distância ao obstáculo e a tensão de saída do sensor (1/20cm - 1/80cm)

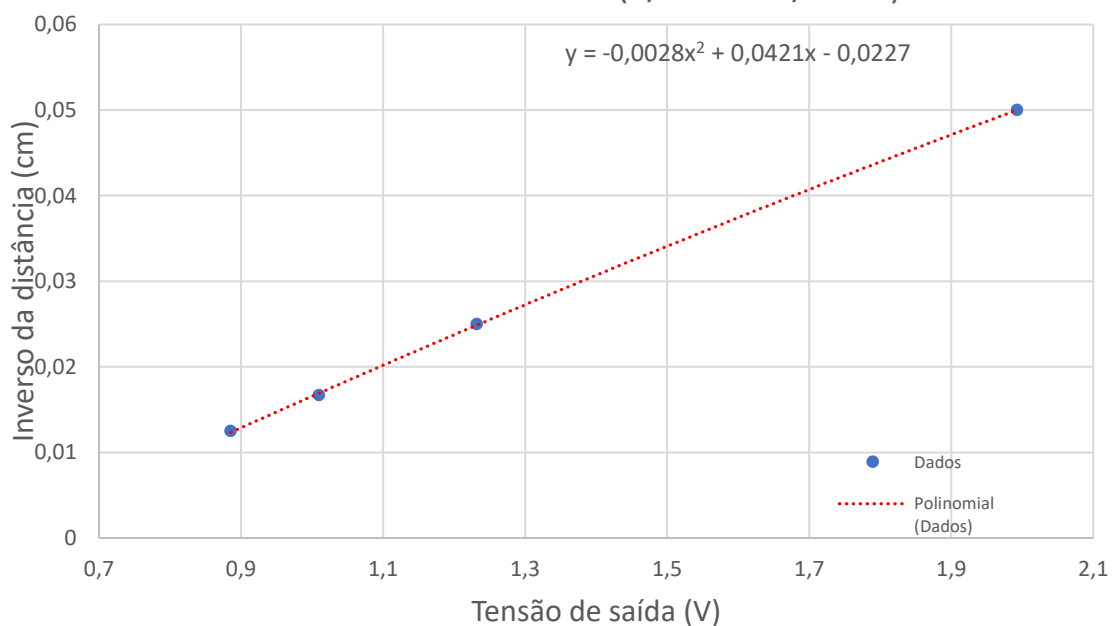


Figura 3.7 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor no intervalo de 20cm-80cm.

Relação entre o inverso da distância ao obstáculo e a tensão de saída do sensor (1/80cm - 1/100cm)

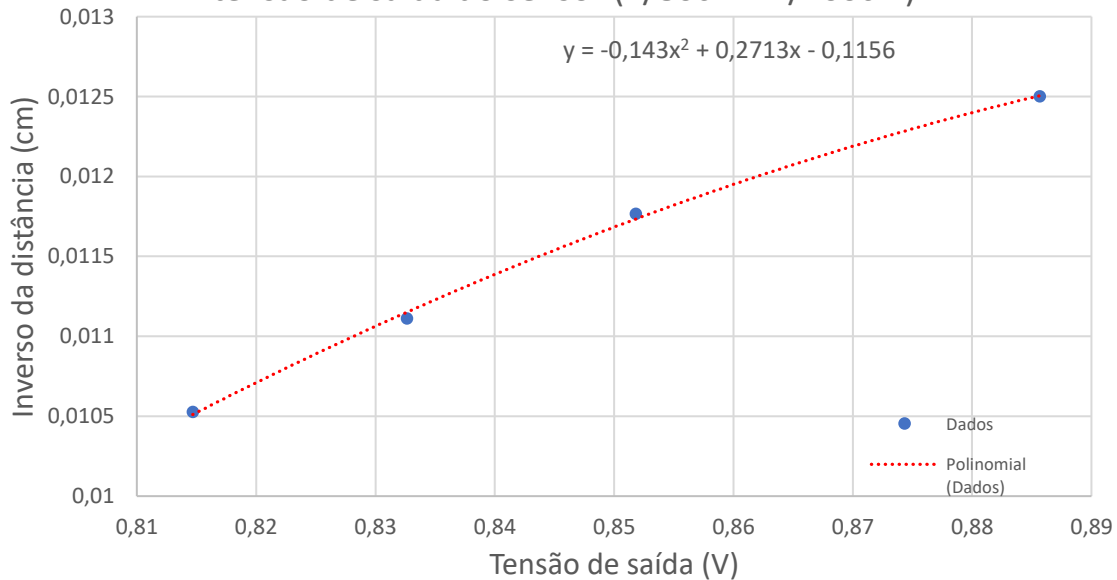


Figura 3.8 – Relação entre o inverso da distância e a tensão de saída do sensor no intervalo de 80cm-100cm.

Assim, deu-se por concluída a recalibração do sensor, que posteriormente é utilizada no ponto 3.7 e, sendo que no ponto 3.5.2 foi feita uma recalibração completa e os valores de referência (alvo de papel branco) são diferentes e no ponto 3.6 os testes foram feitos de novo.

3.2 Influência da intensidade luminosa do meio

O teste executado na subsecção 3.1 pressupõe que as condições de medição são as ideais. Como já se referiu, os dados recolhidos na secção anterior serão usados como referência para verificar a variação destes quando se variam vários fatores.

Nesta secção mostra-se como é que os dados recolhidos variam de acordo com a variação da intensidade luminosa. Verifica-se como é que a presença de luz artificial e natural influencia as medidas, assim como a ausência destes componentes. Verifica-se ainda se o uso de um filtro de polarização altera os resultados das medidas obtidas.

Naturalmente, o teste executado na secção anterior foi feito numa certa situação de iluminação. Mais concretamente, o teste foi executado com iluminação natural.

Logo, esta experiência é importante para perceber se os valores medidos anteriormente têm uma maior ou menor variância do que noutras condições de iluminação. Sendo que se considera que as medidas são mais precisas quanto menor for a variância dos valores medidos.

O teste foi feito para 5 pontos entre 10cm e 100cm e sempre com um alvo plano de cor branca, isto para não variar o alvo em relação ao teste anterior.

Os dados recolhidos apresentam-se na Tabela 3.4. Os testes executados resultam na combinação da presença e ausência de luz natural ou artificial, com o uso de filtro de polarização e/ou luz artificial direta no sensor ou no objeto.

Tabela 3.4 – Valores de tensão média para diferentes situações de iluminação.

Tensão média de 150 amostras [V]		
Distância	c/ Sol	c/ Sol + FiltroPol
10	3,363253051	3,344586266
30	1,469915757	1,471368878
50	1,090842609	1,111296186
70	0,931624422	0,955447605
100	0,80483587	0,842435113
Distância	s/ Sol + FiltroPol + Lamp no Objeto	s/ Sol + FiltroPol + Lamp no Sensor
10	3,371189797	3,360450409
30	1,479103634	1,480905295
50	1,108537706	1,109935075
70	0,955223552	0,955166572
100	0,83909616	0,837892053
Distância	s/ Sol	s/ Sol + FiltroPol
10	3,372178871	3,371723992
30	1,467436649	1,481514879
50	1,090913645	1,105473358
70	0,930551142	0,955867614
100	0,8	0,834050081
Distância	s/ Sol + Lamp no Objeto	s/ Sol + Lamp no Sensor
10	3,360181622	3,321315158
30	1,463326571	1,450655152
50	1,087021212	1,08966051
70	0,92583188	0,923861448
100	0,798773207	0,799026936

Analisando os resultados da tabela, verifica-se que não existe uma suficiente diferença de valores entres os vários testes para considerar que algum deles seja um fator que influencia o funcionamento do elemento sensor. No entanto, e por análise da Tabela 3.5, verifica-se que existe um aumento da variância para grandes distâncias quando existe a presença de luz artificial.

Tabela 3.5 – Valores de desvio padrão para diferentes situações de iluminação.

Desvio Padrão da Tensão [V]		
Distância	c/ Sol	c/ Sol + FiltroPol
10	0,006782002	0,006795096
30	0,005098584	0,006834228
50	0,005155795	0,006497863
70	0,006368324	0,009131387
100	0,00892537	0,009105798
Distância	s/ Sol + FiltroPol + Lamp no Objeto	s/ Sol + FiltroPol + Lamp no Sensor
10	0,005878775	0,007423985
30	0,006626881	0,006464948
50	0,011981467	0,012082862
70	0,017225433	0,016954318
100	0,021891145	0,017766886
Distância	s/ Sol	s/ Sol + FiltroPol
10	0,008475061	0,005626919
30	0,006651984	0,005258221
50	0,004668571	0,008208668
70	0,006755738	0,007924365
100	0,006998401	0,008421137
Distância	s/ Sol + Lamp no Objeto	s/ Sol + Lamp no Sensor
10	0,007871467	0,007803133
30	0,010381394	0,004109609
50	0,007075466	0,008940296
70	0,016764513	0,011313708
100	0,021218441	0,017290845

Mais uma vez, a diferença não é substancial o suficiente para considerar que é uma medição imprecisa, pois continua a ser uma variação do desvio do valor médio bastante baixa. Pela análise da representação gráfica da Figura 3.9 verifica-se que não existe quase diferença nenhuma para qualquer que seja a fonte luminosa.

Variação da tensão em função da fonte de iluminação com/sem a presença de filtro de polarização

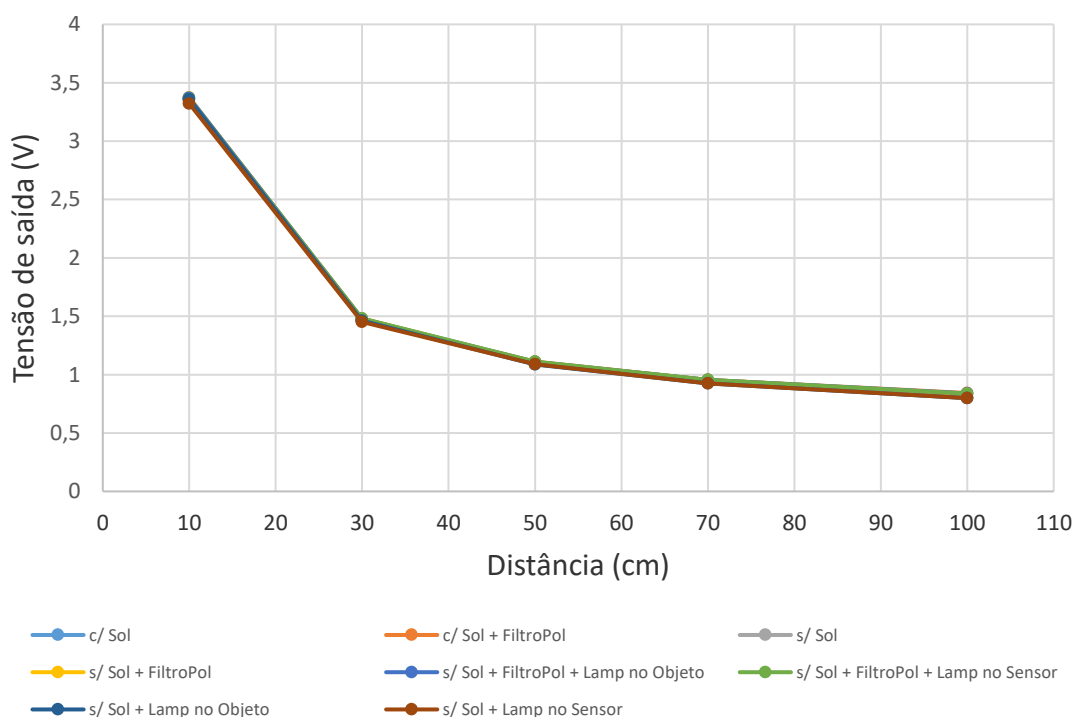


Figura 3.9 – Representação gráfica da variação da tensão em função da fonte de iluminação.

Esta informação resulta na conclusão de que a variação da fonte luminosa não influencia o funcionamento do elemento sensor.

3.3 Influência da orientação do alvo

Um fator que pode influenciar as medidas do elemento sensor é a orientação do objeto segundo a direção em que o elemento sensor aponta.

Este teste foi feito por se considerar que o facto do alvo estar orientado de diferentes maneiras pode alterar os valores disponibilizados pelo elemento sensor. Dado que o elemento sensor efetua o cálculo da distância através de triangulação, e assumindo que o feixe é refletido segundo a perpendicular ao alvo, é espectável que os feixes IR sejam refletidos num sentido diferente e o valor disponibilizado pelo elemento sensor seja o errado.

Com este pressuposto procedeu-se ao teste da veracidade do mesmo.

Este teste consiste em colocar o alvo utilizado nas duas experiências anteriores e fazer uma rotação sobre o eixo central do mesmo.

A experiência foi executada com rotações de 30°, 45° e 60°, para ambos os lados, a distâncias de 20cm, 60cm e 100cm. Compara-se ainda os resultados obtidos desta experiência com os resultados das respectivas distâncias quando o alvo está em frente ao sensor.

A montagem utilizada é semelhante à da figura seguinte, variando apenas o ângulo de rotação e a distância ao objeto.



Figura 3.10 – Montagem da medição da influência da orientação com o objeto a 45° e 60cm de distância.

Efetuarão-se os cálculos das tensões disponibilizadas pelo sensor para cada caso de forma perceber se os valores diferiam dos da primeira experiência.

A tabela utilizada para tratar a informação recolhida foi a mesma que nos testes anteriores. A Tabela 3.6 é a coleção da informação recolhida da média da tensão com o alvo a 45° e de frente para o alvo,

Tabela 3.6 – Tabela dos valores recolhidos com um alvo a 45°.

Distância em cm	Tensão média de 150 amostras (45 graus) [V]		
	Desvio para a direita	Desvio para a esquerda	Perpendicular
20	1,953182789	1,91251043	1,936679079
60	0,999422859	0,993945912	0,982095176
100	0,80571987	0,802295816	0,800837263

Analisando os dados da Tabela 3.6, verifica-se que os valores de tensão disponibilizados pelo sensor são muito semelhantes. O suficiente para dizer que a orientação não influencia o valor médio de várias medições efetuadas.

No entanto observa-se que os valores de desvio padrão são mais elevados quando existe uma alteração na orientação do alvo.

A Tabela 3.7 apresenta os valores de desvio padrão para as diferentes distâncias com a orientação de 45° para ambos os lados.

Tabela 3.7 – Valores de desvio padrão para uma orientação de 45°.

Distância em cm	Desvio padrão (45 graus)		
	Desvio para a direita	Desvio para a esquerda	Perpendicular
20	0,005810336	0,006651984	0,010295414
60	0,010541136	0,007393691	0,00617378
100	0,010965805	0,011772095	0,004890353

Analisando os resultados da Tabela 3.7, obtidos através das experiências com diferentes distâncias, verifica-se que o desvio padrão das medidas aumenta com a distância ao alvo e a orientação deste. Ou seja, a variância dos valores aumenta quanto maior for a distância e a orientação do alvo.

Os gráficos das figuras Figura 3.11, Figura 3.12 e Figura 3.13 ilustram os resultados obtidos.

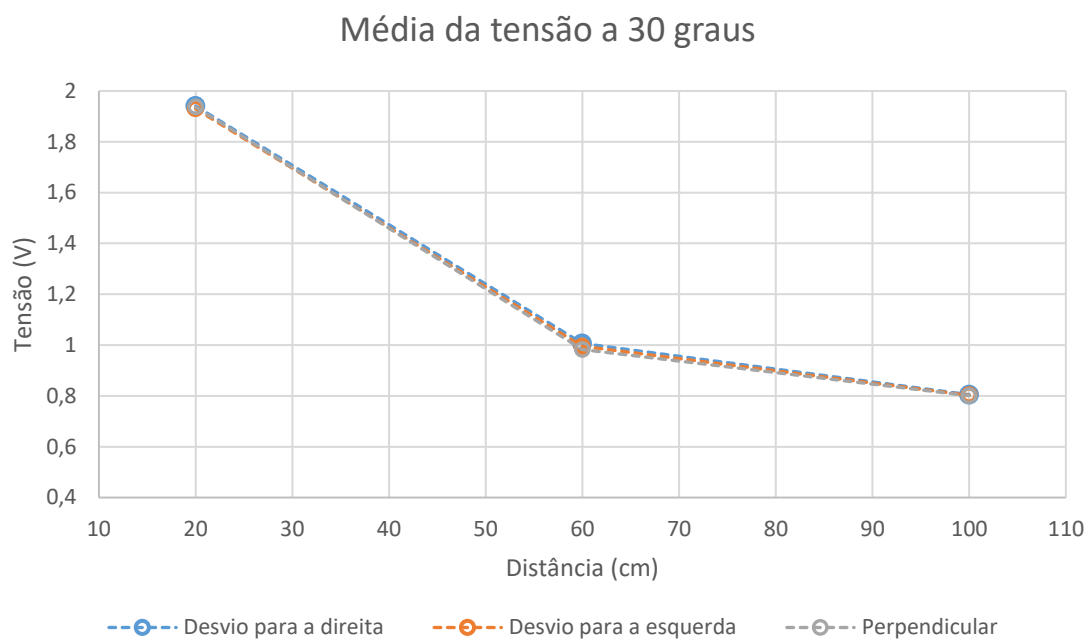


Figura 3.11 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 30° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.

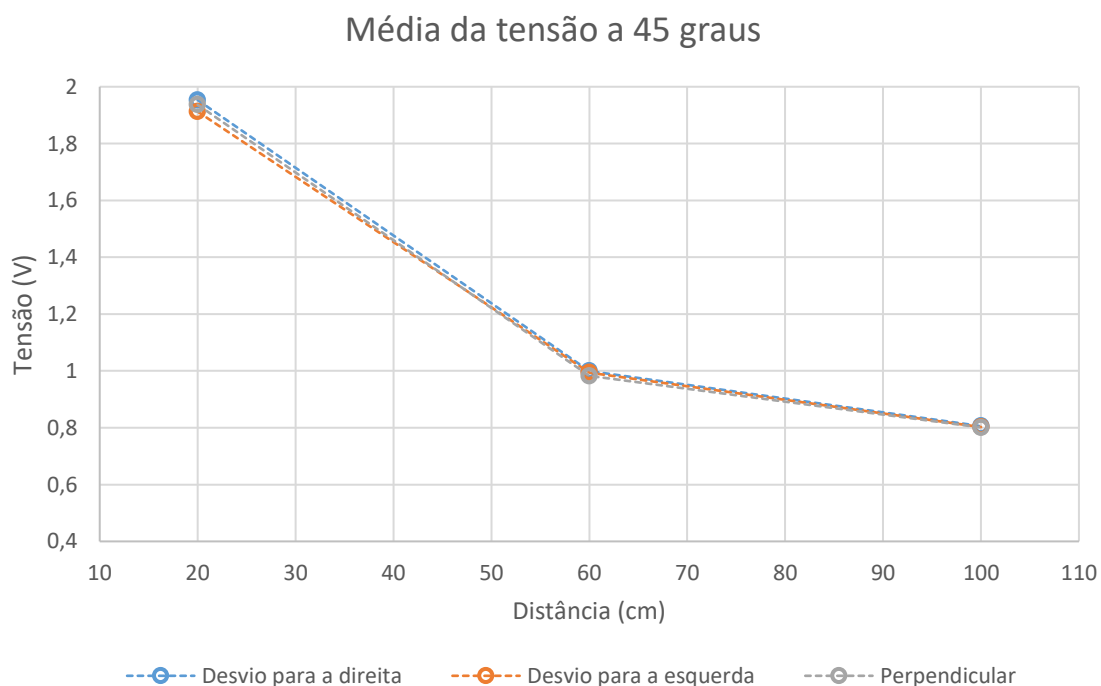


Figura 3.12 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 45° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.

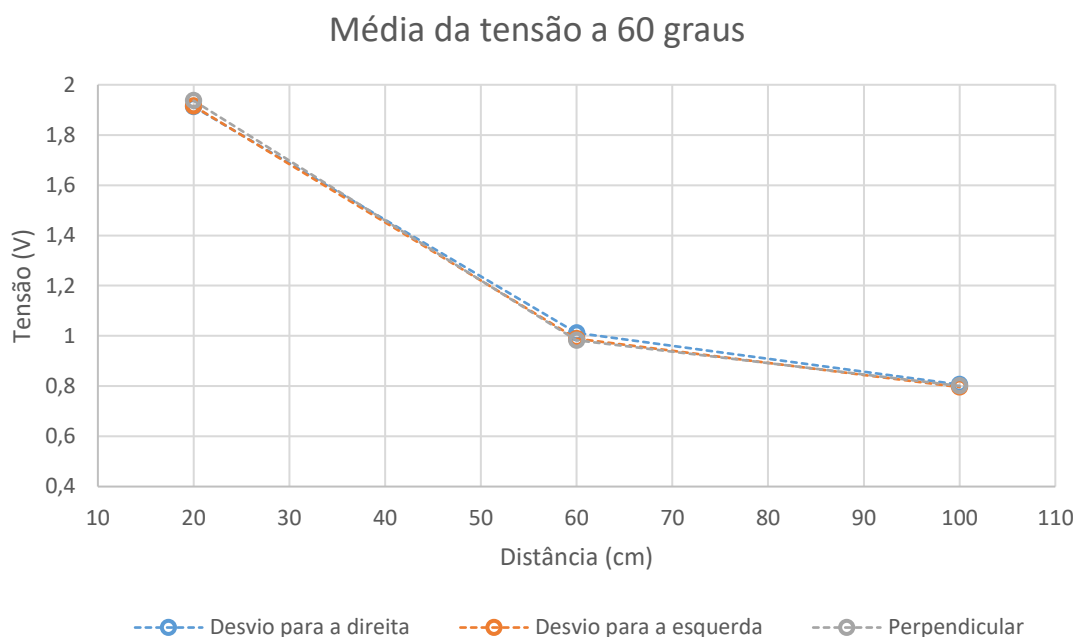


Figura 3.13 – Representação gráfica da influência da orientação do alvo a 60° e perpendicularmente na tensão disponibilizada pelo elemento sensor.

Com os resultados obtidos desta experiência percebe-se que o facto de o alvo estar com uma orientação diferente não influencia significativamente o valor de tensão disponibilizado pelo elemento sensor. Conclui-se ainda que o valor de dispersão dos valores em torno da média é maior quanto maior for a distância, maior ainda do que com o alvo de frente para o elemento sensor. O que apenas significa que os valores disponibilizados pelo elemento sensor variam mais em torno do ponto médio quanto maior for a distância, no entanto em média o valor é praticamente igual.

3.4 Influência da temperatura do meio

No ponto 3.2 procurou-se perceber se a diferença de intensidade luminosa seria um fator que poderia influenciar os valores disponibilizados pelo elemento sensor. No entanto não se verificou uma suficiente alteração destes valores, no entanto houve alterações, mesmo que mínimas. O que levou a concluir que este não era um fator condicionante do funcionamento deste elemento sensor.

Contudo no processo de teste da influência da luminosidade chegou-se à conclusão que as pequenas variações podem ter estado na origem das diferenças de temperatura do alvo ou do próprio meio. Já que o teste com sol se fez com sol direto no alvo, e ainda o teste com a luz

artificial foi feito com uma lâmpada de incandescência. Ou seja, estas condições poderão ter elevado a temperatura do meio.

Por estas razões decidiu-se verificar se a temperatura do meio é um fator capaz de alterar as medidas efetuadas pelo elemento sensor.

Este teste foi efetuado recorrendo a um termopar que se colocou no alvo e junto ao elemento sensor. Assim verificou-se ambas as hipóteses. Tanto se a alteração da temperatura do alvo influencia as medições efetuadas ou se a alteração da temperatura do elemento do sensor o faz.

O teste foi executado à distância de 50cm com uma variação da temperatura do elemento sensor de 7 °C e de 10 °C da superfície do alvo. Mais uma vez foram utilizados 150 valores de tensão a cada grau de temperatura.

O resultado de medições consecutivas desde 20 °C até à temperatura máxima atingida foi o das seguintes tabelas.

Tabela 3.8 – Registo dos valores de tensão ao longo de uma variação de temperatura de 7 °C do sensor.

Teste medindo a temperatura do elemento sensor	
Temperatura registada	Valor médio da tensão registada [V]
20°C	1,042
21°C	1,043
22°C	1,042
23°C	1,054
24°C	1,061
25°C	1,062
26°C	1,061
27°C	1,063

Tabela 3.9 – Registo dos valores de tensão ao longo de uma variação de temperatura de 10 °C do alvo.

Teste medindo a temperatura do alvo	
Temperatura registada	Valor médio da tensão registada [V]
20 °C	1,043
21 °C	1,043
22 °C	1,042
23 °C	1,043
24 °C	1,042
25 °C	1,043
26 °C	1,042
27 °C	1,044
28 °C	1,043
29 °C	1,043
30 °C	1,042

Uma rápida análise dos resultados obtidos leva a concluir que a alteração da temperatura tanto do objeto como a do elemento sensor não altera os resultados obtidos.

O que leva a crer que além da intensidade luminosa não alterar os resultados a alteração da temperatura também não origina alterações. Sendo que desta vez os desvios dos valores em relação à média mantiveram-se baixos e semelhantes entre si.

Mais uma vez, verifica-se outro fator que não influencia as medidas efetuadas.

3.5 Influência do pigmento e composição do alvo

Este teste surgiu aquando das leituras de variadas fontes bibliográficas. Verificou-se que a cor do alvo utilizado era um fator que condicionava os dados recolhidos para os sensores baseados na intensidade do feixe refletido [31]. Sendo que em [32] verificou-se que para um sensor baseado no método da triangulação a cor não influenciava significativamente os resultados obtidos.

Já a influência do material constituinte, pelo trabalho desenvolvido em [3] percebeu-se que a alteração do material constituinte do alvo tem um grande impacto nas medidas efetuadas.

Neste trabalho testou-se a influência do material constituinte do alvo assim como a influência do pigmento deste. Pois, a questão da diferenciação entre a variação da cor e a variação do material constituinte do alvo é uma tarefa muito complicada. Já que mesmo variando a cor do objeto, não podemos garantir a 100% que a matéria de que o alvo é constituído é igual.

O mesmo se aplica à alteração do material do alvo, não podemos garantir que o pigmento usado para produzir uma certa cor é o mesmo para os variados materiais usados, mesmo sendo

aparentemente da mesma cor. Portanto a influência da cor do alvo e do material constituinte deste são dificilmente separáveis. Por esta mesma razão passar-se-á a partir deste momento a fazer a referência ao pigmento constituinte do alvo, e não à cor.

3.5.1 Influência do pigmento do alvo

Começou-se por perceber a influência da diferença do pigmento em folhas de papel de lustro. Testou-se a influência dos pigmentos azul, verde, vermelho e preto e comparou-se com os resultados obtidos em 3.1 com uma folha de papel branco.

Os testes foram executados às distâncias de 10cm, 30cm, 50cm, 70cm e 100cm para cada um dos pigmentos. Tendo-se obtido a média de 150 valores de tensão por cada distância e pigmento, representados na tabela seguinte:

Tabela 3.10 – Tensão média por cada alvo com os respetivos pigmentos e por distância.

Distância em cm	Tensão média de 150 amostras [V]				
	Branco	Vermelho	Azul	Preto	Verde
10	3,352519011	3,283158855	3,23291422	2,501588297	3,114581408
30	1,451117441	1,105077729	1,030908663	0,697241902	1,03043936
50	1,081184283	0,780973681	0,731691019	0,371779457	0,712442895
70	0,911175756	0,681411643	0,521005673	0,320842813	0,601025108
100	0,786832195	0,551031169	0,350922313	0,271607287	0,37856774

Analisando os dados da Tabela 3.10 constata-se que existe uma variação dos valores de tensão de acordo com a cor. Isto é, para qualquer distância a que se colocou o alvo, os valores de tensão quando se varia o pigmento da folha não são semelhantes. A maior variação verifica-se na presença de um alvo com pigmento preto.

Como se pode observar no gráfico da Figura 3.14 os valores de tensão divergem bastante dos valores considerados padrão nesta experiência (valores de tensão retirados na secção 3.1).

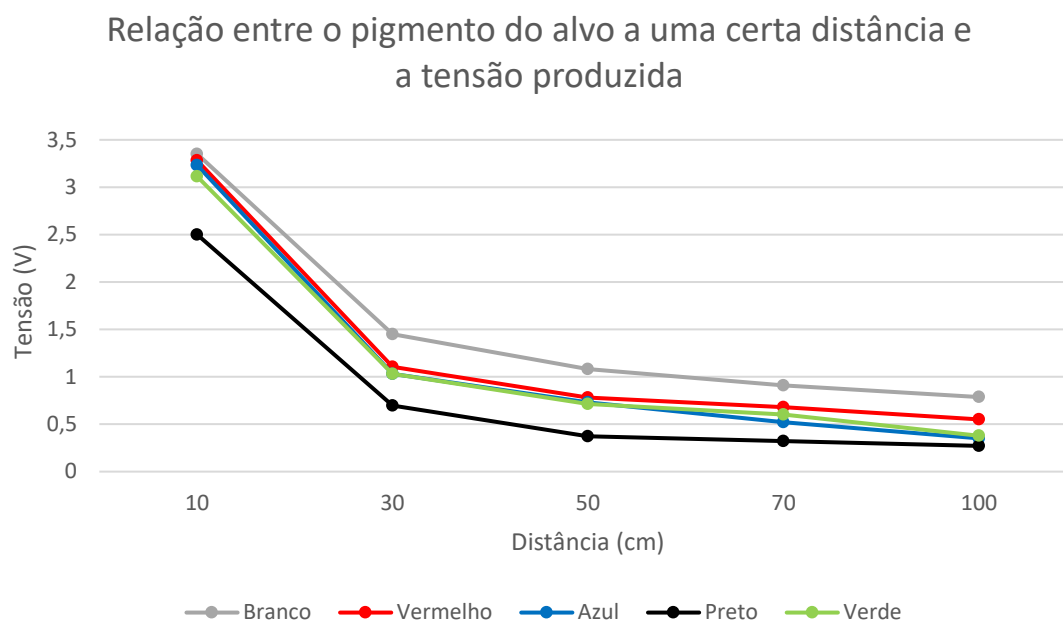


Figura 3.14 – Relação entre o pigmento do alvo a uma certa distância e a tensão produzida pelo elemento sensor.

Ou seja, este teste mostrou que o pigmento do alvo é uma característica que dificilmente se pode ignorar. Podendo este problema ser resolvido de variadas formas, no entanto não é esse o objetivo desta investigação, mas sim a caracterização do funcionamento do sensor tendo em conta as variadas condicionantes e testes executados.

O resultado obtido utilizando o papel de lustro de pigmento preto resultou numa diferença demasiado grande para se poder ignorar, o que levou a executar o teste do ponto 3.5.3.

Depois de executado o teste da influência do pigmento do alvo, procedeu-se à análise da influência de diferentes materiais nos resultados obtidos.

3.5.2 Influência da composição do alvo

O teste executado no ponto 3.1 foi feito com um alvo de papel branco. Neste teste experimentou-se colocar um alvo de esponja e um de esferovite. O objetivo é perceber como é que materiais com uma densidade diferente e irregularidades na superfície influenciam as medições. No entanto, não é possível retirar o fator cor que, como vimos anteriormente, é uma condicionante na obtenção dos resultados.

Procedeu-se à experiência com estes materiais. Mais uma vez, colocou-se o alvo com a várias distâncias e verificou-se os valores de tensão disponibilizados pelo elemento sensor.

Na Tabela 3.11 apresenta-se os resultados obtidos colocando o alvo à distância de 10cm, 30cm, 50cm, 70cm e 100cm, sempre de frente para o elemento sensor como na secção 3.1.

Tabela 3.11 – Valores de tensão referentes às respectivas distâncias com alvos com diferentes materiais.

Distância em cm	Tensão média de 150 amostras		
	Papel Branco	Esponja laranja	Esferovite Branco
10	3,542056443	3,065049445	3,55945516
30	1,467637364	1,469502369	1,47975824
50	1,022819246	1,080725892	1,030544963
70	0,745801014	0,881567231	0,779658045
100	0,418290286	0,711882716	0,478085656

Analisando os valores de tensão obtidos verifica-se que, comparativamente com o alvo branco, quando utilizado um alvo composto por esponja laranja que os valores de tensão obtidos são diferentes. Por alguma razão alheia a esta investigação, os valores de tensão disponibilizados quando na presença de um alvo composto por esponja são mais elevados do que quando presente um alvo plano e branco.

No entanto, e ignorando este acontecimento, os valores obtidos são diferentes do padrão. Para uma melhor perceção destas divergências na Figura 3.15 apresenta-se a representação gráfica dos valores obtidos da Tabela 3.11.

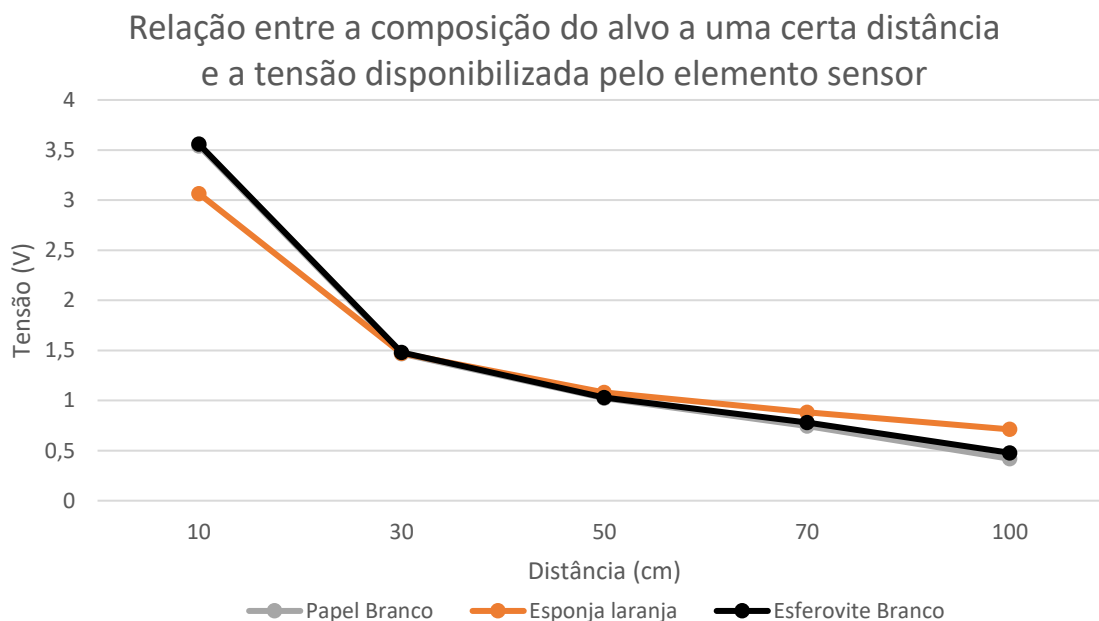


Figura 3.15 – Relação entre a composição do alvo a uma certa distância e a tensão disponibilizada pelo elemento sensor.

Como já se tinha constatado o material constituinte do alvo é um fator que altera os resultados obtidos a uma mesma distância.

A subsecção que se segue tem como objetivo juntar os dois resultados obtidos nesta subsecção e a anterior e perceber como é que alvos com um pigmento aparentemente igual, mas com composições diferentes, influênciam os resultados obtidos.

3.5.3 Resultado conjunto da influência do pigmento e do material do alvo

Este teste tem como objetivo colocar diferentes alvos com diferente material constituinte, mas com um pigmento preto aparentemente igual em todos. Com isto pretende-se concluir que a influência conjunta do pigmento e do material constituinte do alvo são fatores que dificilmente se separam e que levam a um estudo conjunto do alvo em questão.

Os testes foram todos executados com um alvo de pigmento preto, sendo que se alterou os materiais constituintes do alvo.

Na tabela seguinte apresenta-se os diversos resultados obtidos.

Tabela 3.12 – Tensão média na presença de alvos com diferente composição, mas um aparentemente igual pigmento.

Tensão média de 150 amostras [V]					
Distância em cm	Papel de lustro mate preto	Papel de lustro brilhante preto	Cartão preto	Ferro preto	Papel Branco
10	2,790917922	2,691456642	3,298720712	2,799713976	3,542056443
30	0,911830242	0,743717919	1,417159718	1,104807545	1,467637364
50	0,560982017	0,451151877	0,980784628	0,684303355	1,022819246
70	0,411666509	0,370841866	0,684381068	0,505040816	0,745801014
100	0,173244315	0,263029418	0,379508411	0,188597408	0,418290286

Por análise da Tabela 3.12 pode-se constatar que os valores de tensão variam drasticamente e variadamente consoante o material do alvo.

Usando uma folha de papel de lustro de material semelhante observa-se que o simples facto do pigmento preto não ser igual altera os valores de tensão (coluna 1 e 2). No entanto muito divergente dos valores padrão observados na última coluna correspondente ao papel branco.

Para uma melhor visualização destes resultados, na Figura 3.16 observa-se a representação gráfica destes.

Relação entre a composição e pigmento do alvo a uma certa distância e a tensão disponibilizada pelo sensor

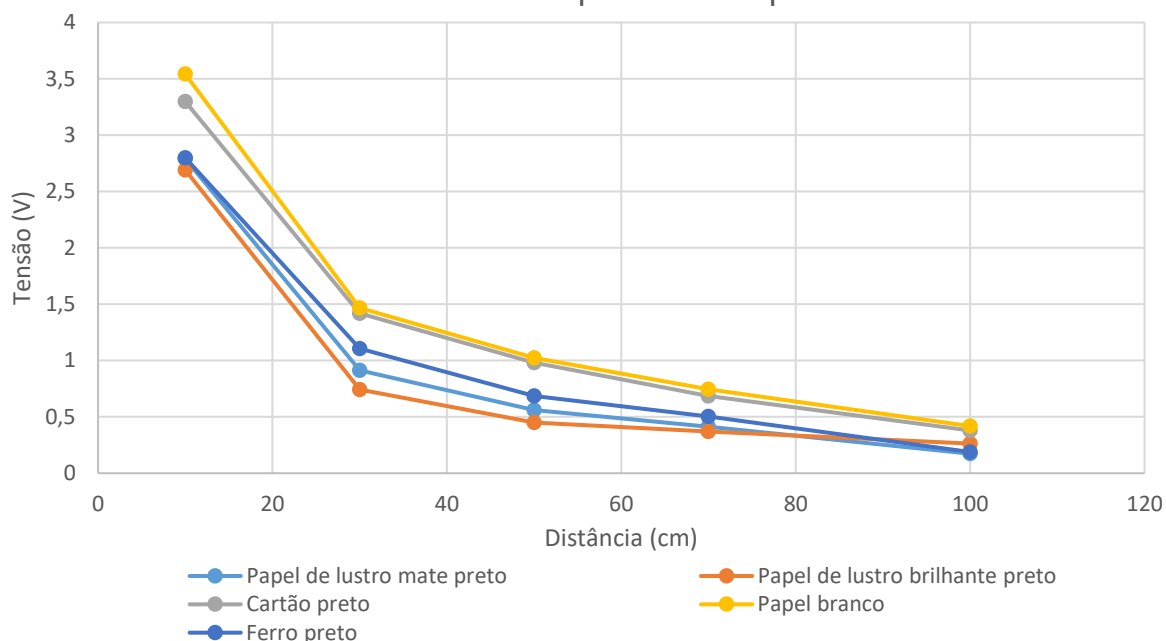


Figura 3.16 – Relação entre a composição e pigmento do alvo a uma certa distância e a tensão disponibilizada pelo sensor.

Ou seja, depois desta secção consegue-se constatar que o material constituinte do alvo e o pigmento deste são fatores que não podem ser desprezados quando se pretendem trabalhar com este tipo de elemento sensor. Mais ainda sendo impossível a diferenciação destes fatores com apenas este tipo de elemento sensor é essencial a deteção e diferenciação destas condicionantes.

3.6 Influência entre elementos sensores

Outro fator que potencialmente podia influenciar as medições efetuadas é a interceção entre feixes de outros elementos sensor IR.

Sabe-se pela bibliografia que a existência de radiação infravermelha afeta as medidas produzidas por elementos sensor IR baseados na intensidade do feixe. No entanto, e como já foi constatado, a radiação IR que faz parte da luz natural não influencia as medições efetuadas por um elemento sensor IR baseado no princípio da triangulação. No entanto é necessário verificar de a radiação IR proveniente de outros sensores afeta os resultados das medições.

Para efetuar este teste foi necessária a colocação de dois elementos sensor lado a lado e verificar se os dados recolhidos de um deles variava consoante a presença ou ausência do outro

em funcionamento. Neste caso usou-se um segundo sensor GP2Y0A60SZ0F como fonte de perturbação.

A montagem utilizada encontra-se representada na figura seguinte, onde se pode verificar que se colocaram os dois elementos sensor lado a lado.

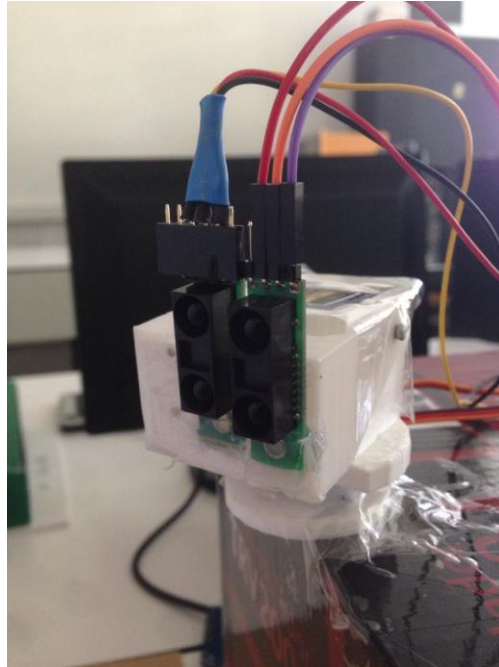


Figura 3.17 – Montagem utilizada para o teste de interferência entre elementos sensor do mesmo tipo.

Com a montagem pronta recolheram-se os dados de um dos elementos sensor quando este operava sozinho e quando ambos operavam.

Os valores recolhidos apresentam-se na seguinte tabela.

Tabela 3.13 – Valores de tensão média para cada modo de operação.

Distância [cm]	Média da tensão [V]	
	1 Elemento Sensor	2 Elemento Sensor
20	1,986837883	1,991292982
40	1,244098847	1,264542003
60	1,007697406	1,026056332
80	0,881340884	0,893048231

Analisando os dados da tabela verifica-se que os resultados obtidos são quase que iguais, e tal fica mais evidente depois de observar a representação gráfica destes dados.

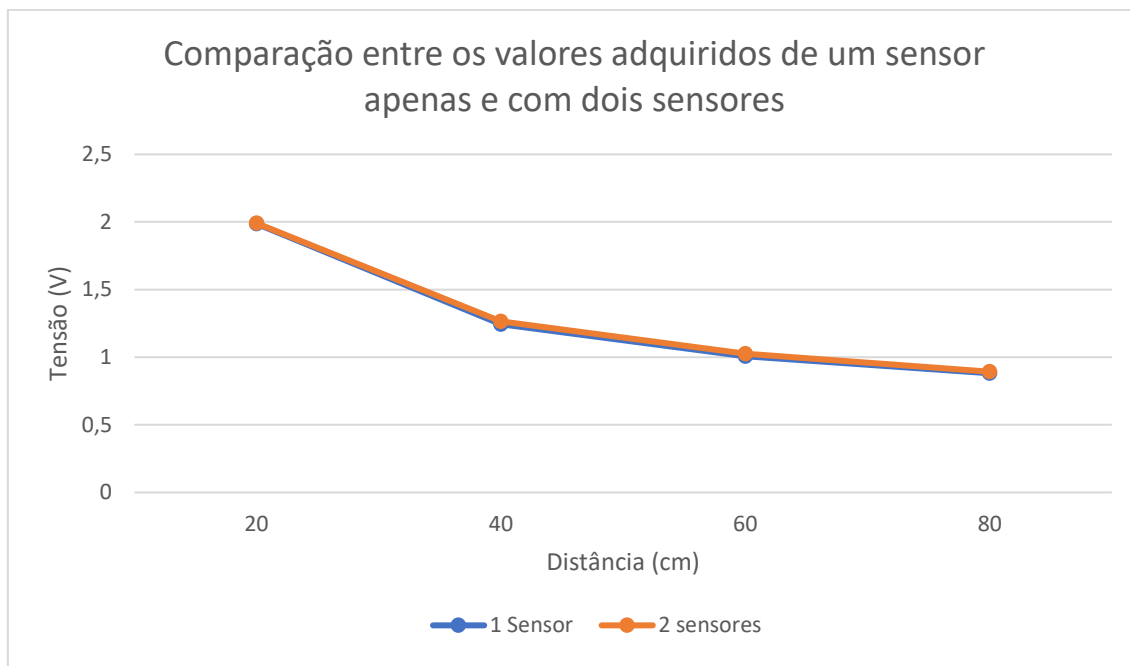


Figura 3.18 – Representação gráfica dos valores obtidos utilizando 1 ou 2 sensores ao mesmo tempo.

Os valores de desvio padrão da tensão são igualmente similares, levando assim à realização de que não existe interferência entre feixes.

Logo este pequeno teste foi suficiente para provar e comprovar que não existe qualquer interferência entre os feixes infravermelhos de elementos sensores iguais funcionando ao mesmo tempo e havendo uma possível interceção entre os seus feixes IR. O que também é relevante para estudos futuros onde se pretenda utilizar vários destes sensores em conjunto.

3.7 Característica de detecção espacial

Depois de testadas as várias condicionantes ao funcionamento do elemento sensor com um alvo suficientemente grande, propostas inicialmente, testa-se agora a precisão a nível espacial deste. Ou seja, pretende-se com este teste perceber qual é a característica de detecção do elemento sensor, na horizontal e na vertical. Para isso recorreu-se ao uso de uma vara de madeira com 50 cm de altura e 2cm de espessura para efetuar uma série de medições. Assumiu-se em todas as experiências que o centro de detecção é uma linha reta que sai da lente de emissão do sensor.

3.7.1 Característica horizontal

Estas medições foram feitas aos 10cm, 30cm, 60cm e 100cm de distância. A Figura 3.19 apresenta a montagem utilizada para efetuar os testes de caracterização do elemento sensor na horizontal.



Figura 3.19 – Montagem utilizada para o cálculo da característica horizontal.

Começou-se por fazer as primeiras medições antes de haver qualquer deteção por parte do elemento sensor. Assim criou-se um critério de comparação entre deteção e não deteção.

Foram efetuadas medições de 0,5cm em 0,5cm desde 10cm à esquerda do centro de deteção até 10cm à direita deste. Para cada localização do alvo foram efetuadas 50 medições, feita a média e calculado o desvio padrão destas medições.

Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção horizontal a 10cm.

Distância [cm]	Tensão média [V]	Desvio padrão tensão
-10	0,6296	0,0883038
-9,5	0,6198	0,0928644
-9	0,6154	0,0830872
-8,5	0,623	0,0852824
-8	0,6242	0,0857142
-7,5	0,5738	0,0860394
-7	0,578	0,0859268
-6,5	0,585	0,0819668
-6	0,6094	0,0891026
-5,5	0,5858	0,0859082
-5	0,5974	0,089618
-4,5	0,588	0,0777112
-4	0,6436	0,0855662
-3,5	0,6684	0,0870468
-3	0,6984	0,0898942
-2,5	0,8542	0,0652164
-2	0,9054	0,0661418
-1,5	1,3852	0,038923
-1	1,7376	0,0126772
-0,5	2,2604	0,0058266
0	3,0236	0,0072188
0,5	3,386	0,0064134
1	3,5102	0,0072334
1,5	3,2676	0,0057202
2	2,4706	0,0124128
2,5	2,1146	0,0287914
3	1,0302	0,0613174
3,5	0,7032	0,0876014
4	0,6342	0,0824588
4,5	0,6278	0,0863264
5	0,5838	0,0867632
5,5	0,5952	0,0885584
6	0,5722	0,0850998
6,5	0,6076	0,089798
7	0,6286	0,0856056
7,5	0,5818	0,0874244
8	0,623	0,0858946
8,5	0,6308	0,084025
9	0,6096	0,0857902
9,5	0,6118	0,094323
10	0,594	0,0821586

A representação gráfica dos valores apresentados na Tabela 3.14 apresentam-se ilustrados na Figura 3.20 e na Figura 3.21.

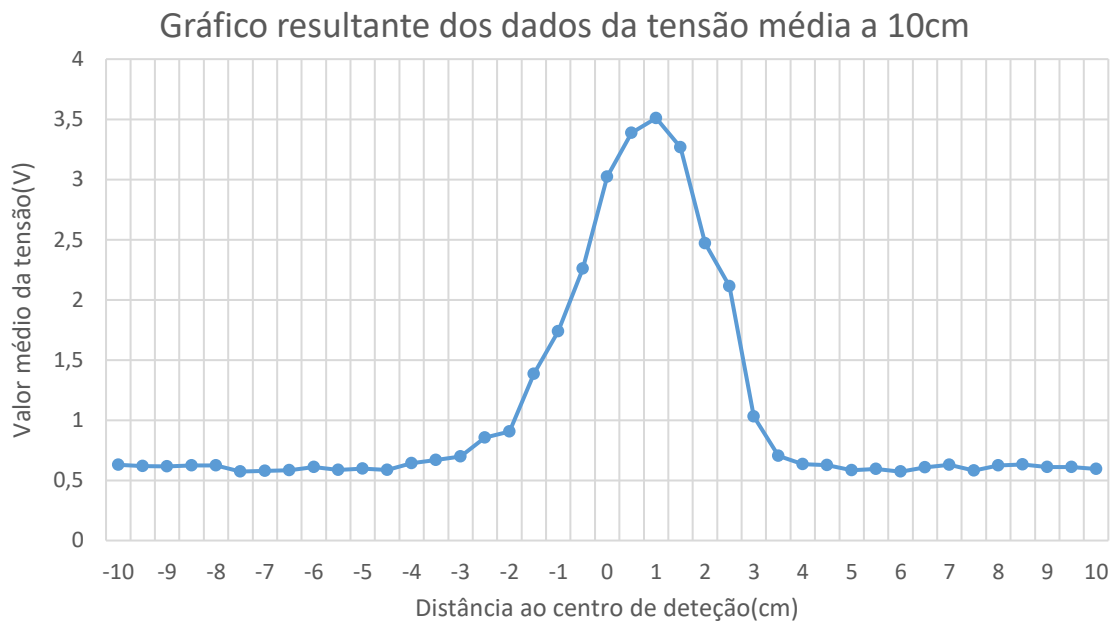


Figura 3.20 – Gráfico resultante dos dados da tensão média da característica de detecção horizontal a 10cm.



Figura 3.21 – Gráfico resultante dos dados do desvio padrão da característica de detecção horizontal a 10cm.

De notar que no gráfico da Figura 3.21 a escala do valor de desvio padrão está invertida e que quanto menor for este valor melhor. Estas figuras são referentes aos valores obtidos durante a experiência a 10cm de distância.

Analisando os gráficos anteriores constata-se que existe um certo padrão. Existem valores muito baixos de desvio padrão e altos de tensão média, e valores altos de desvio padrão acompanhados por valores baixos de tensão média, ou seja, zonas de detecção e zonas de não detecção, respectivamente. Esta afirmação é apenas possível observando graficamente os resultados, no entanto, é necessária esta distinção através de métodos estatísticos.

Para isto, procedeu-se à criação de uma condição de validação. Na sua versão mais básica esta condição é:

$$SE((DP < 45\% MDP) E (TM > 50\% MTM)) \quad \text{Equação 4}$$

Onde DP é o desvio padrão das medidas efetuadas num ponto e MDP o máximo desvio padrão atingido durante toda a experiência. TM é a tensão média das medidas efetuadas num ponto e MTM é o máximo de tensão atingido durante a experiência.

No entanto esta condição pode criar zonas de não detecção entre zonas de detecção. Isto pode acontecer devido a pequenas diferenças entre a condição e o valor calculado. Por isso é criada uma segunda condição que permite aceitar estas exceções. Esta condição tem como premissa a ocorrência de duas posteriores ou duas anteriores deteções, caso aconteça é considerada uma deteção, caso contrário é considerada como uma não deteção.

Depois de criada uma condição de aceitação que permita separar os valores que representam uma zona de deteção dos valores que são referentes a uma não deteção, é possível estimar a zona de deteção horizontal.

Estes cálculos resultaram na seguinte tabela:

Tabela 3.15 – Resultados da aplicação da condição de aceitação nos resultados obtidos a 10cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Zona de deteção a 10cm
-10	NOT DETECTED
-9,5	NOT DETECTED
-9	NOT DETECTED
-8,5	NOT DETECTED
-8	NOT DETECTED
-7,5	NOT DETECTED
-7	NOT DETECTED
-6,5	NOT DETECTED
-6	NOT DETECTED
-5,5	NOT DETECTED
-5	NOT DETECTED
-4,5	NOT DETECTED
-4	NOT DETECTED
-3,5	NOT DETECTED
-3	NOT DETECTED
-2,5	NOT DETECTED
-2	NOT DETECTED
-1,5	NOT DETECTED
-1	NOT DETECTED
-0,5	DETECTED
0	DETECTED
0,5	DETECTED
1	DETECTED
1,5	DETECTED
2	DETECTED
2,5	DETECTED
3	NOT DETECTED
3,5	NOT DETECTED
4	NOT DETECTED
4,5	NOT DETECTED
5	NOT DETECTED
5,5	NOT DETECTED
6	NOT DETECTED
6,5	NOT DETECTED
7	NOT DETECTED
7,5	NOT DETECTED
8	NOT DETECTED
8,5	NOT DETECTED
9	NOT DETECTED
9,5	NOT DETECTED
10	NOT DETECTED

Com estes dados podemos verificar que a condição de aceitação reduziu a zona de deteção do elemento sensor a 3 cm na horizontal a uma distância de 10cm.

Este procedimento foi executado para as restantes distâncias tendo-se obtido outros resultados.

OS resultados obtidos para maiores distâncias apresentam, como já foi referido anteriormente, uma maior variabilidade. Isto traduz-se no aumento do valor mínimo de desvio padrão dos valores de tensão calculados o que diminui o intervalo de variação deste valor. Ou seja, a condição de aceitação teve de ser ajustada para cada caso.

Foi aplicada a condição de aceitação para as distâncias de 30cm, 60cm e 100cm que estão representadas nas tabelas Tabela 3.16, Tabela 3.17 e Tabela 3.18, respetivamente.

Tabela 3.16 – Resultados da aplicação da condição de aceitação nos resultados obtidos a 30cm.

Distância [cm]	Zona de detecção
-10	NOT DETECTED
-9,5	NOT DETECTED
-9	NOT DETECTED
-8,5	NOT DETECTED
-8	NOT DETECTED
-7,5	NOT DETECTED
-7	NOT DETECTED
-6,5	NOT DETECTED
-6	NOT DETECTED
-5,5	NOT DETECTED
-5	NOT DETECTED
-4,5	NOT DETECTED
-4	DETECTED
-3,5	DETECTED
-3	DETECTED
-2,5	DETECTED
-2	DETECTED
-1,5	DETECTED
-1	DETECTED
-0,5	DETECTED
0	DETECTED
0,5	DETECTED
1	DETECTED
1,5	DETECTED
2	DETECTED
2,5	DETECTED
3	DETECTED
3,5	NOT DETECTED
4	NOT DETECTED
4,5	NOT DETECTED
5	NOT DETECTED
5,5	NOT DETECTED
6	NOT DETECTED
6,5	NOT DETECTED
7	NOT DETECTED
7,5	NOT DETECTED
8	NOT DETECTED
8,5	NOT DETECTED
9	NOT DETECTED
9,5	NOT DETECTED
10	NOT DETECTED

Tabela 3.17 – Característica de detecção a 60cm de distância do elemento sensor.

Distância [cm]	Zona de detecção
-10	NOT DETECTED
-9,5	NOT DETECTED
-9	NOT DETECTED
-8,5	NOT DETECTED
-8	NOT DETECTED
-7,5	NOT DETECTED
-7	NOT DETECTED
-6,5	NOT DETECTED
-6	NOT DETECTED
-5,5	NOT DETECTED
-5	DETECTED
-4,5	DETECTED
-4	DETECTED
-3,5	DETECTED
-3	DETECTED
-2,5	DETECTED
-2	DETECTED
-1,5	DETECTED
-1	DETECTED
-0,5	DETECTED
0	DETECTED
0,5	DETECTED
1	DETECTED
1,5	DETECTED
2	DETECTED
2,5	DETECTED
3	DETECTED
3,5	DETECTED
4	DETECTED
4,5	DETECTED
5	NOT DETECTED
5,5	NOT DETECTED
6	NOT DETECTED
6,5	NOT DETECTED
7	NOT DETECTED
7,5	NOT DETECTED
8	NOT DETECTED
8,5	NOT DETECTED
9	NOT DETECTED
9,5	NOT DETECTED
10	NOT DETECTED

Tabela 3.18 – Característica de deteção a 100cm de distância do elemento sensor.

Distância [cm]	Zona de deteção
-10	NOT DETECTED
-9,5	NOT DETECTED
-9	NOT DETECTED
-8,5	NOT DETECTED
-8	NOT DETECTED
-7,5	NOT DETECTED
-7	NOT DETECTED
-6,5	NOT DETECTED
-6	NOT DETECTED
-5,5	NOT DETECTED
-5	NOT DETECTED
-4,5	NOT DETECTED
-4	DETECTED
-3,5	DETECTED
-3	DETECTED
-2,5	DETECTED
-2	DETECTED
-1,5	DETECTED
-1	DETECTED
-0,5	DETECTED
0	DETECTED
0,5	DETECTED
1	DETECTED
1,5	DETECTED
2	DETECTED
2,5	DETECTED
3	DETECTED
3,5	DETECTED
4	DETECTED
4,5	DETECTED
5	DETECTED
5,5	DETECTED
6	NOT DETECTED
6,5	NOT DETECTED
7	NOT DETECTED
7,5	NOT DETECTED
8	NOT DETECTED
8,5	NOT DETECTED
9	NOT DETECTED
9,5	NOT DETECTED
10	NOT DETECTED

Como se pode observar pelos dados das tabelas anteriores, com o aumento da distância regista-se um aumento no valor máximo de desvio padrão aceite pela função de aceitação.

Ou seja, todo este teste que se efetuou para a determinação da característica de deteção horizontal do elemento sensor, levou-nos a perceber que este não apresenta uma forma espacial

de deteção que seja regular. É ainda observado que os valores de desvio padrão apresentados a uma maior distância são relativamente altos comparativamente com distâncias mais curtas, o que pode influenciar o mecanismo de decisão e a função de aceitação.

3.7.2 Característica vertical

Para verificar a característica de deteção vertical do elemento sensor procedeu-se da mesma forma que a subsecção anterior. Foram feitos os testes às distâncias de 10cm, 30cm, 60cm e 100cm e mais uma vez verificou-se os valores de desvio padrão e tensão média em cada ponto, mas de 1cm em 1cm na vertical.

É importante notar que a altura do elemento sensor durante todo o teste foi de 23,5cm, sendo que o elemento sensor está seguro numa base de suporte que o mantém estável a essa altura. Importante também referir que todos os valores registados nas tabelas que se seguem tomam como referência o plano onde assenta a base de suporte do elemento sensor.

Para efeitos de comparação da característica de medição, os dados que se seguem foram recolhidos a 10cm.

Tabela 3.19 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 10cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Média Tensão [V]	Desvio padrão da tensão
20	0,5416	0,079358
21	0,5604	0,0802508
22	0,5262	0,083458
23	0	0,0040888
24	0,0016	0,0057892
25	0,7252	0,0093552
26	3,1496	0,0089558
27	4,039	0,0063584
28	4,1358	0,0054808
29	2,1662	0,0373706
30	0,9398	0,0690926
31	0,6456	0,0801268
32	0,6048	0,0816834
33	0,5874	0,0814584
34	0,5838	0,0778158
35	0,58	0,0887988

A representação dos dados apresentados na Tabela 3.19 apresenta-se representada na Figura 3.22 e Figura 3.23.

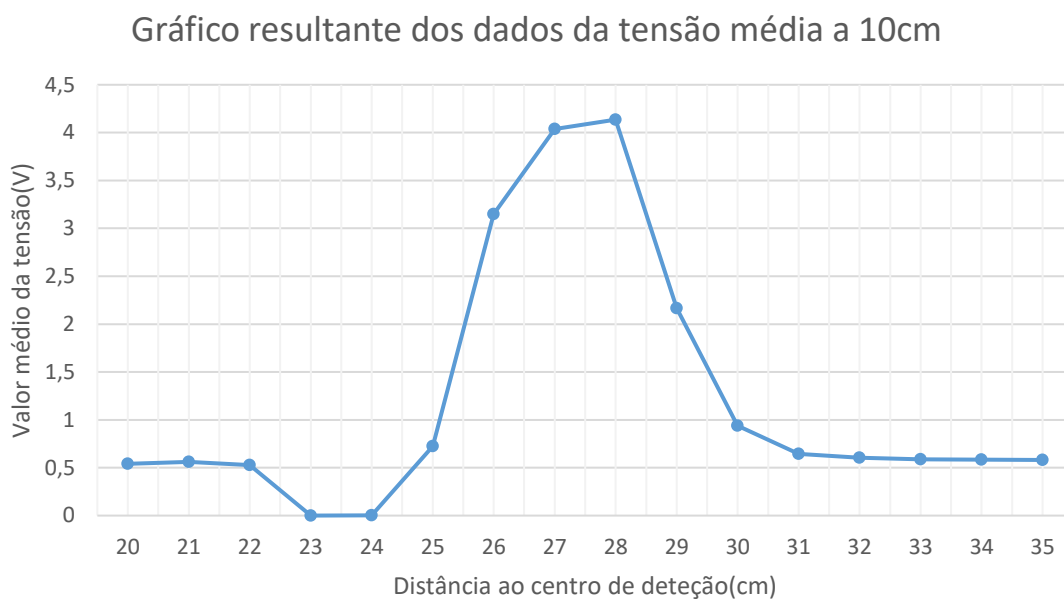


Figura 3.22 – Gráfico resultante dos dados da tensão média da característica de detecção vertical a 10cm.

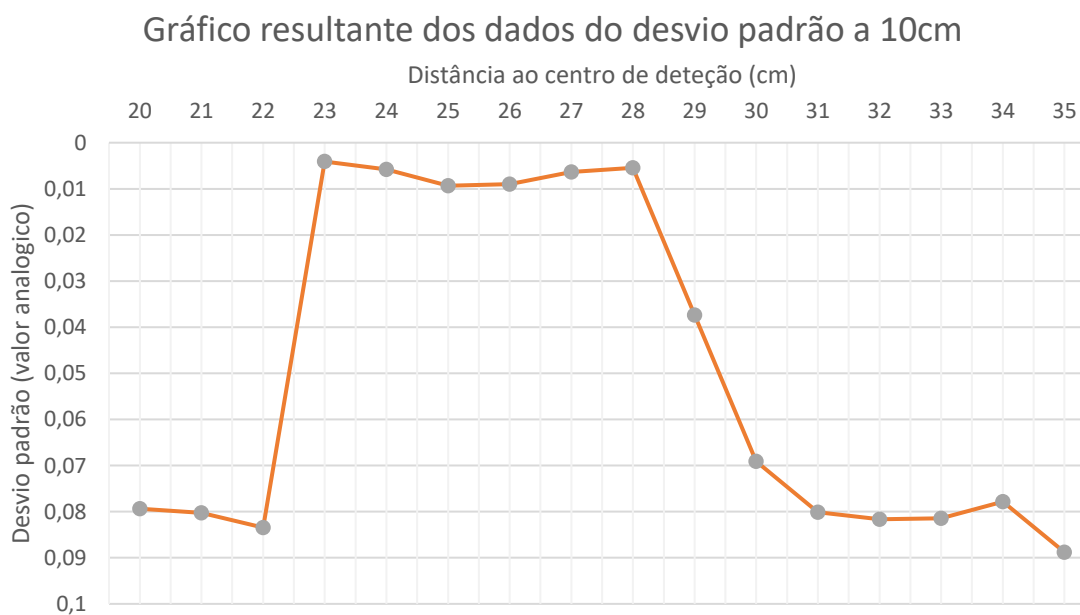


Figura 3.23 – Gráfico resultante dos dados do desvio padrão da característica de detecção vertical a 10cm.

Observando as representações gráficas das duas figuras anteriores constata-se que o valor de tensão que se observa a 23cm e 24cm são muito próximos de zero. Associados a estes valores estão valores muito baixos de desvio padrão. Ou seja, apesar da inconsistência do valor de tensão, esta apresenta-se inconsistentemente consistente. Isto é, os valores de tensão disponibilizados

pelo elemento sensor são muito semelhantes entre si mesmo quanto estão errados. A explicação para este fenómeno poderá estar na incidência do feixe no canto do alvo, o que poderá originar os valores de tensão muito próximos de zero. No entanto continua a fazer parte do objeto e observando o valor de desvio padrão verifica-se que este é muito pequeno, o que reforça esta suposição.

Baseados nestes factos, reduziu-se a importância dos valores de tensão disponibilizados passando a ser apenas informativos. Assim, e baseando-nos na $SE((DP < 45\% MDP) \text{ E } (TM > 50\% MTM))$ Equação 4, obteve-se a seguinte tabela de decisão referente a 10cm de distância.

Tabela 3.20 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 10cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Zona de deteção a 10cm
20	NOT DETECTED
21	NOT DETECTED
22	NOT DETECTED
23	DETECTED
24	DETECTED
25	DETECTED
26	DETECTED
27	DETECTED
28	DETECTED
29	DETECTED
30	NOT DETECTED
31	NOT DETECTED
32	NOT DETECTED
33	NOT DETECTED
34	NOT DETECTED
35	NOT DETECTED

Analisando a tabela, e estando o sensor a uma altura de 23,5cm, constata-se que o sensor tem uma característica de deteção vertical a 10cm de 0,5cm abaixo e 5,5 acima do centro de deteção.

O mesmo processo foi efetuado para as distâncias de 30cm, 60cm e 100cm. Os resultados, tal como anteriormente, mostram ter um desvio máximo aceite mais alto quanto maior é a distância.

Tabela 3.21 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 30cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Média Tensão [V]	Desvio padrão da tensão
21	0,3152	0,084595
22	0,0028	0,0095158
23	0	0,0030382
24	0,0432	0,007923
25	0,3586	0,0069934
26	1,0988	0,0056516
27	1,739	0,0067134
28	2,2886	0,0056076
29	2,9988	0,0078824
30	3,2518	0,0115046
31	3,6042	0,017614
32	2,6702	0,0423616
33	1,7296	0,0547522

Tabela 3.23 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 30cm.

Distância [cm]	Zona de deteção
21	NOT DETECTED
22	DETECTED
23	DETECTED
24	DETECTED
25	DETECTED
26	DETECTED
27	DETECTED
28	DETECTED
29	DETECTED
30	DETECTED
31	DETECTED
32	DETECTED
33	NOT DETECTED

Tabela 3.22 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 60cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Média Tensão [V]	Desvio padrão da tensão
21	0,3892	0,0889036
22	0,025	0,0258254
23	0,0002	0,0042954
24	0	0,0035942
25	0,003	0,009555
26	0,3364	0,0093092
27	0,7642	0,008416
28	1,0658	0,0070086
29	1,467	0,0080502
30	1,6438	0,007136
31	1,9744	0,011729
32	1,8698	0,0272376
33	1,7146	0,0333686
34	1,4632	0,0440016
35	1,5468	0,0531242

Tabela 3.24 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 60cm.

Distância[cm]	Zona de deteção
21	NOT DETECTED
22	DETECTED
23	DETECTED
24	DETECTED
25	DETECTED
26	DETECTED
27	DETECTED
28	DETECTED
29	DETECTED
30	DETECTED
31	DETECTED
32	DETECTED
33	DETECTED
34	DETECTED
35	NOT DETECTED

Tabela 3.25 – Valores registados durante o teste de caracterização do aspeto de deteção vertical a 100cm.

Distância ao centro de deteção [cm]	Média Tensão [V]	Desvio padrão da tensão
21	0,116	0,0603126
22	0,03	0,0294648
23	0,0102	0,0153172
24	0,0614	0,0348908
25	0,1078	0,0331674
26	0,193	0,0260772
27	0,1964	0,0258682
28	0,5566	0,017874
29	0,832	0,016174
30	0,95	0,015513
31	1,1342	0,015799
32	1,2572	0,0200582
33	1,1544	0,0265792
34	1,2956	0,028567
35	1,2074	0,0377556
36	0,9138	0,0632312

Tabela 3.26 – Resultados da condição de aceitação nos resultados obtidos a 100cm.

Distância [cm]	Zona de deteção
21	NOT DETECTED
22	DETECTED
23	DETECTED
24	DETECTED
25	DETECTED
26	DETECTED
27	DETECTED
28	DETECTED
29	DETECTED
30	DETECTED
31	DETECTED
32	DETECTED
33	DETECTED
34	DETECTED
35	DETECTED
36	NOT DETECTED

Os testes foram feitos em intervalos de altura maiores, no entanto para efeitos de resultados apresentam-se nas Tabelas Tabela 3.21 à Tabela 3.26 apenas os resultados relevantes.

Depois de completa a caracterização vertical do sensor percebe-se que esta é um pouco diferente da horizontal. O perfil de deteção vertical é maior e aparentemente aumenta com a distância. Mais uma vez os valores de desvio padrão apresentados a uma maior distância são relativamente mais altos comparativamente com distâncias mais curtas.

Assim dá-se por completa a caracterização vertical e procede-se para a caracterização global do sensor.

3.7.3 Característica global de deteção

Após a caracterização horizontal e vertical, sentiu-se a necessidade de criar uma representação do perfil de deteção geral do elemento sensor. A ideia é criar uma representação espacial do perfil de deteção do elemento sensor e com isso perceber a largura/altura de deteção a cada distância.

Esta representação e dados recolhidos é bastante importante e será essencial para a caracterização do espaço de trabalho (secção seguinte).

Começou-se por criar um mapa 2D do perfil de deteção do elemento sensor. Isto foi alcançado juntando a informação da caracterização horizontal e vertical em cada uma das distâncias. Um dos mapas criados apresenta-se representado figura que se segue, sendo que foi efetuado uma alteração na escala de valores de forma a facilitar a criação de uma condição de aceitação.

Numa primeira iteração foi efetuada a multiplicação dos valores de desvio padrão obtidos nas duas experiências anteriores. Os valores obtidos são representativos da relação entre os desvios padrões em cada um dos pontos calculados.

A primeira condição de aceitação foi apenas a divisão dos resultados em detecção e não detecção se o valor da multiplicação for inferior a 40% do máximo de desvio padrão, que neste caso é 10. O resultado obtido para a distância de 10cm encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 3.27 – Característica global de detecção para um obstáculo a 10cm.

Distância vertical																					
35	8,234	9,069	9,226	9,529	6,906	7,004	4,110	1,320	0,591	0,739	0,654	0,741	0,580	1,292	3,033	6,491	9,285	8,739	9,150	9,196	9,387
34	7,212	7,944	8,082	8,347	6,048	6,134	3,598	1,153	0,515	0,645	0,570	0,646	0,505	1,128	2,654	5,685	8,133	7,654	8,015	8,055	8,223
33	7,551	8,317	8,461	8,739	6,332	6,423	3,768	1,208	0,540	0,676	0,597	0,677	0,530	1,183	2,780	5,952	8,516	8,014	8,391	8,434	8,609
32	7,572	8,340	8,485	8,763	6,350	6,440	3,779	1,212	0,542	0,678	0,599	0,679	0,531	1,186	2,788	5,969	8,539	8,036	8,414	8,457	8,633
31	7,427	8,181	8,323	8,596	6,228	6,317	3,706	1,188	0,531	0,665	0,587	0,666	0,521	1,163	2,734	5,854	8,376	7,883	8,254	8,295	8,468
30	6,400	7,050	7,173	7,408	5,367	5,443	3,192	1,021	0,454	0,569	0,503	0,570	0,445	0,999	2,354	5,044	7,219	6,793	7,113	7,149	7,298
29	3,449	3,800	3,867	3,994	2,890	2,931	1,714	0,539	0,233	0,295	0,259	0,296	0,228	0,527	1,260	2,715	3,891	3,661	3,834	3,854	3,934
28	0,482	0,533	0,543	0,562	0,400	0,406	0,227	0,055	0,010	0,019	0,014	0,019	0,010	0,053	0,161	0,374	0,547	0,513	0,538	0,541	0,553
27	0,564	0,623	0,635	0,656	0,468	0,476	0,268	0,069	0,016	0,027	0,021	0,027	0,016	0,066	0,191	0,439	0,639	0,600	0,629	0,632	0,646
26	0,805	0,889	0,905	0,936	0,671	0,681	0,389	0,108	0,034	0,049	0,041	0,050	0,033	0,105	0,281	0,629	0,911	0,856	0,898	0,902	0,922
25	0,842	0,930	0,947	0,979	0,702	0,713	0,408	0,114	0,037	0,053	0,044	0,053	0,036	0,111	0,294	0,659	0,953	0,896	0,939	0,944	0,964
24	0,511	0,565	0,575	0,595	0,424	0,430	0,242	0,060	0,012	0,022	0,016	0,022	0,012	0,058	0,172	0,397	0,579	0,544	0,570	0,573	0,586
23	0,352	0,391	0,398	0,412	0,291	0,296	0,163	0,034	0,001	0,007	0,003	0,007	0,000	0,033	0,113	0,272	0,401	0,376	0,395	0,397	0,406
22	7,737	8,522	8,670	8,954	6,488	6,581	3,861	1,239	0,554	0,693	0,613	0,695	0,544	1,212	2,849	6,099	8,725	8,211	8,598	8,641	8,821
21	7,439	8,193	8,336	8,609	6,238	6,327	3,712	1,190	0,532	0,666	0,588	0,667	0,522	1,165	2,738	5,863	8,389	7,895	8,266	8,308	8,481
20	7,356	8,102	8,243	8,513	6,168	6,256	3,670	1,176	0,526	0,658	0,581	0,659	0,515	1,151	2,708	5,798	8,295	7,807	8,174	8,216	8,386
Distância Horizontal	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5

Como se pode observar pela Tabela 3.27 existem deteções (representadas na tabela pela cor verde) em locais isolados do mapa 2D, o que indica que existem *outliers* [39] criados pela condição de aceitação.

Para eliminar os *outliers* criados pela condição de aceitação baseámo-nos num método bastante utilizado em processamento de imagem, o método dos componentes ligados com conectividade de 4 [40].

O objetivo é eliminar os *outliers* através da condição de que se o ponto em questão tiver na sua vizinhança adjacente a 4 pontos, pontos que sejam deteções, ou os pontos vizinhos adjacentes a 4 pontos tenham pontos adjacentes que sejam deteções, então não é um *outlier*. Caso contrário considera-se que a deteção é um *outlier* e deixa-se de se considerar como tal.

Um exemplo ilustra-se na figura seguinte, onde antes da aplicação da regra existe uma deteção que irá ser considerada um *outlier* e através deste método o *outlier* é eliminado e passa a ser considerada uma não deteção.

FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO
FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO

ANTES

FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
FALSO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO
FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO

DEPOIS

Figura 3.24 – Aplicação da regra que exclui pontos cuja vizinhança e vizinhos não são deteções.

A aplicação desta condição repetidamente resulta em apenas uma área de deteção. Juntando toda a informação já tratada é possível criar uma representação 3D do espaço de deteção do elemento sensor. Esta representação só é possível após a definição da área de deteção em cada uma das distâncias, o que resulta nas seguintes figuras.

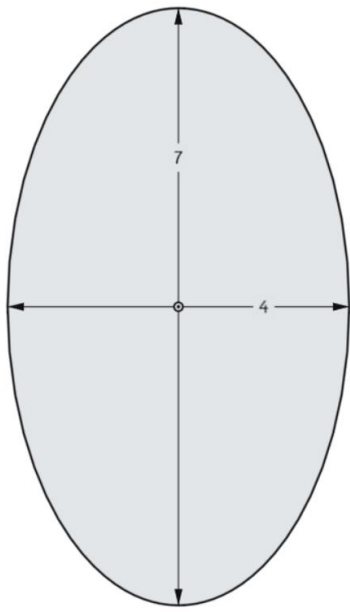


Figura 3.25 – Área de detecção a 10cm (valores da imagem em cm).

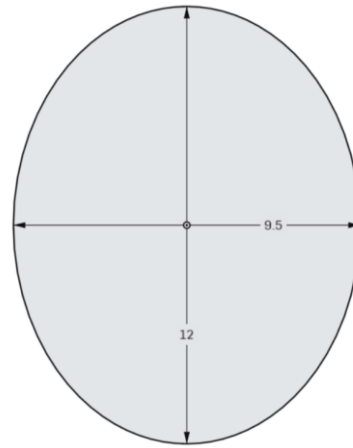


Figura 3.27 – Área de detecção a 60cm (valores da imagem em cm).

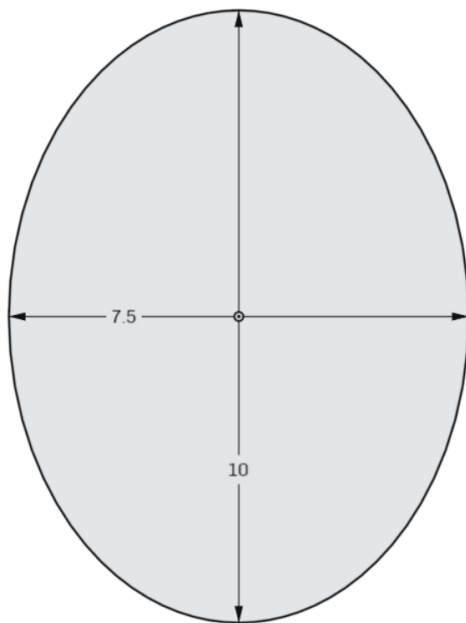


Figura 3.26 – Área de detecção a 30cm (valores da imagem em cm).

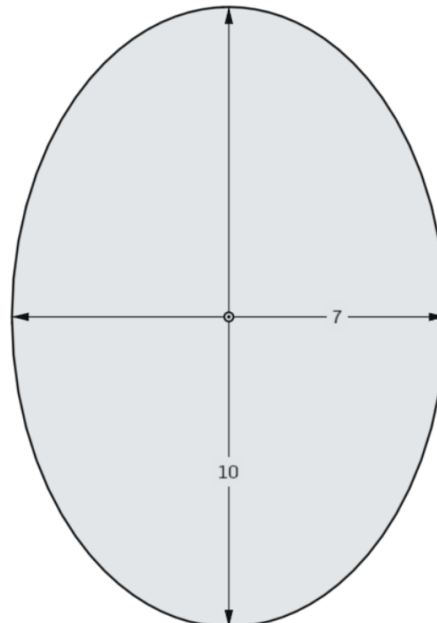


Figura 3.28 – Área de detecção a 100cm (valores da imagem em cm).

Deste modo é possível a criação de uma representação 3D da característica global de detecção do elemento sensor, a qual se apresenta na figura seguinte.

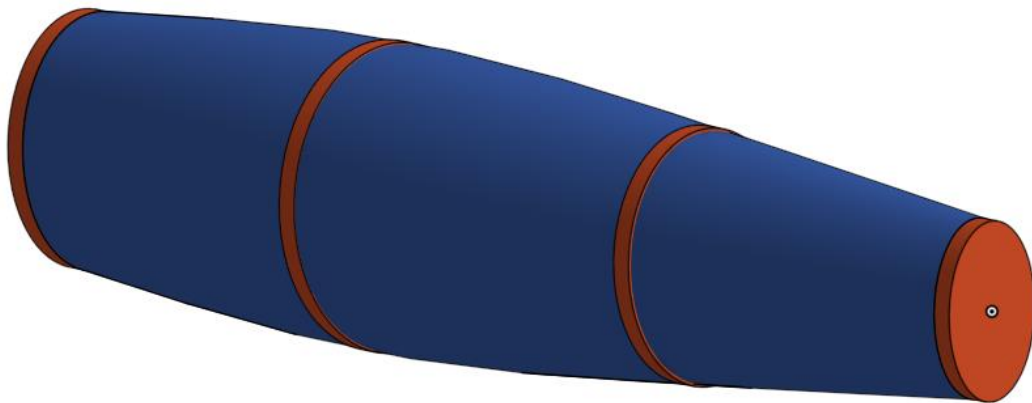


Figura 3.29 – Representação 3D da característica de detecção espacial do elemento sensor.

E deste modo termina-se a caracterização do perfil de detecção espacial do elemento sensor. Esta informação é essencial para a secção seguinte onde se irá caracterizar as zonas do espaço como objeto, não objeto e transição entres os dois estados anteriores.

4 Caracterização do espaço de trabalho

Toda a caracterização do funcionamento do elemento sensor até agora serviu para perceber as condicionantes e restrições ao funcionamento do mesmo. O que culminou na ideia de que, numa versão mais básica, o elemento sensor poderá ser integrado num sistema capaz de processar a informação deste. Onde se sujeita o elemento sensor às condições de funcionamento mais favoráveis até agora estudadas, ou seja, superfície plana de cor branca, nomeadamente uma folha de papel.

O objetivo é agora a criação de um sistema sensorial capaz de detetar e classificar a área de trabalho a que é sujeito o elemento sensor. Apenas irá ser criado um sistema capaz de fazer a caracterização horizontal do espaço de trabalho. No entanto, o mesmo se aplica para a caracterização do espaço vertical. Contudo, o objetivo é simplesmente mostrar que é possível criar um sistema capaz desta tarefa apenas com a utilização de um simples elemento sensor de medição de distância por infravermelhos.

Para isso, criou-se um sistema que permitisse o movimento horizontal[41] do elemento sensor, representado na Figura 4.1.

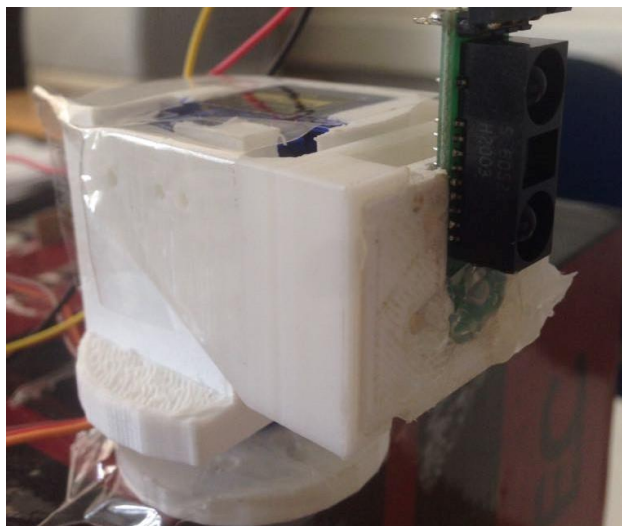


Figura 4.1 – Mecanismo de rotação horizontal e vertical.

Este sistema foi impresso numa impressora 3D, de tal modo a permitir a inserção de dois servos motores para efetuar os movimentos horizontais e verticais. Com esta plataforma criada, acoplou-se o sensor de forma a permitir uma leitura nas mesmas condições que vimos na secção 3.1.

Nesta fase foi necessária a produção de uma nova curva de valores, pois os valores disponibilizados pelo elemento sensor já não eram os mesmos. Tal como explicado na subsecção 3.1.1 apenas foi necessária a recolha de alguns valores, o que no fim permitiu obter uma nova curva de funcionamento. A curva resultante é a que se encontra na Figura 3.6 na subsecção 3.1.1.

No entanto, e de forma a obter resultados mais aproximados e fiéis à realidade criou-se duas curvas a partir da primeira. Uma das curvas diz respeito aos dos valores entre 20cm e 80cm (Figura 4.2) a outra diz respeito aos valores de 80cm a 95cm (Figura 4.3), contudo as expressões permitem o cálculo dos valores entre 10cm e 100cm.

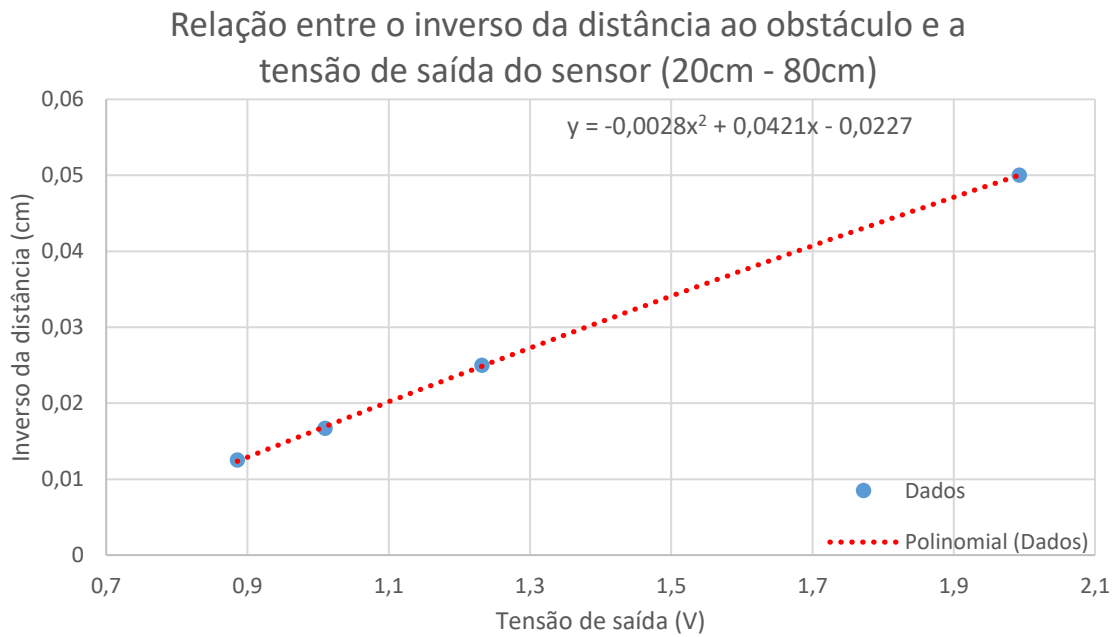


Figura 4.2 – Curva de calibração dos valores de distância entre 20cm e 80cm.

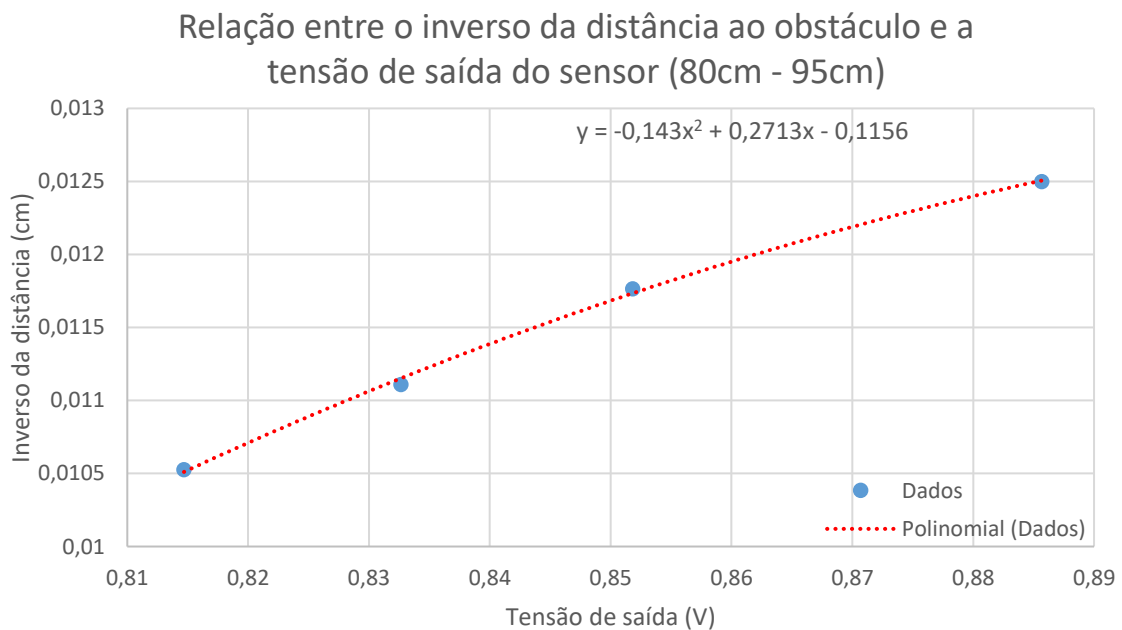


Figura 4.3 – Curva de calibração dos valores de distância entre 80cm e 100cm.

Introduzindo estas equações no microprocessador Arduino Uno é possível tornar os valores de tensão recebidos em valores de distância aproximados ao valor real. Este passo entre um elemento sensor que disponibiliza uma tensão à saída e um sistema capaz de calcular uma distância

aproximada através do valor de tensão disponibilizado pelo elemento sensor, é a passagem de um elemento sensor para um sensor. Ou seja, depois do processamento da informação é que se obtém um sensor de medição de distância.

Portanto, neste momento é possível afirmar que foi criado um sensor de medição de distância por infravermelhos.

Contudo o objetivo desta secção é a utilização da informação recolhida para estimar e caracterizar o ambiente de trabalho.

Começou-se por delinear qual o resultado final que se pretende obter, deste resultado espera-se que o sistema criado seja capaz de diferenciar a presença e ausência de obstáculos.

Dado que na experiência anterior verificou-se que existe uma área de deteção isso leva a assumir que existe uma zona de transição. Isto é, se o obstáculo estiver a 30cm de distância e o sensor estiver apontado imediatamente a seguir ao fim do obstáculo e início de um espaço vazio, pelos dados retirados anteriormente, o sensor vai detetar a presença de um obstáculo na área de deteção correspondente a esta distância. Logo, é de esperar que se o sensor estiver a apontar para um espaço vazio suficientemente perto de um obstáculo, este possa ser detetado e considerar-se que é uma deteção num espaço vazio, pois a transição entre presença e ausência de objeto não é imediata.

Por isso introduz-se outro conceito, o conceito de transição. Este fenómeno e as alterações entre deteção e não deteção podem ser graficamente representados pela seguinte figura.

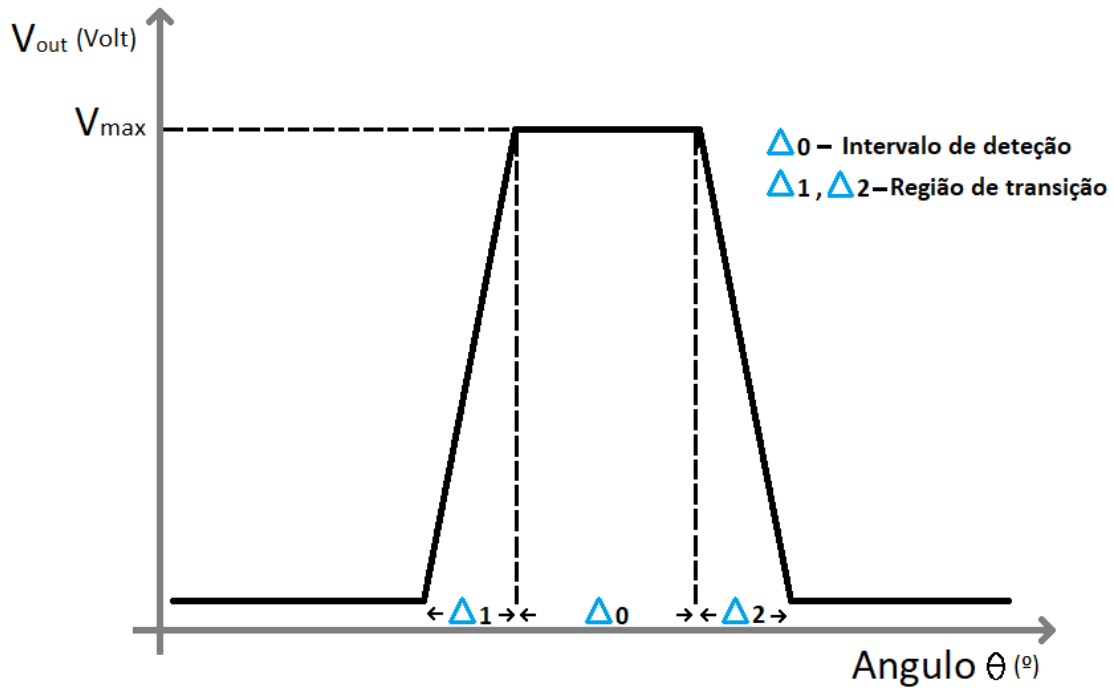


Figura 4.4 – Possíveis estados do sensor.

Ou seja, existem zonas que tanto pertencem ao obstáculo como a um espaço vazio e que serão caracterizadas como transições.

Esta observação resultou na proposta de caracterização do espaço de trabalho através do uso de um filtro de Kalman [42].

4.1 Filtro de Kalman para caracterização do espaço de trabalho

Pela figura Figura 4.5 – Cenário 1 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho, podemos observar o ambiente de teste no qual se retiraram 150 medidas (desde 30° até 140°) e usou-se esse vetor de tensões que através de uma função polinomial que mais se aproxima do comportamento do sensor permite criar um vetor das medições efetuadas. A ideia passa por considerar um vetor X de n posições tal que para cada valor medido considera-se que os $n-1$ valores seguintes estão de alguma forma relacionados entre si através de C , sendo C uma função que permite interpretar esta relação.

Pela notação de Kalman [43] temos:

Previsão:

$$\hat{x}_{t|t-1} = A_{t-2}\hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad \text{Equação 5}$$

$$P_{t|t-1} = A_t P_{t-1|t-1} A_t^T + Q_t \quad \text{Equação 6}$$

Atualização:

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - C_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad \text{Equação 7}$$

$$K_t = P_{t|t-1} C_t^T (C_t P_{t|t-1} C_t^T + R_t)^{-1} \quad \text{Equação 8}$$

$$P_{t|t} = (I - K_t C_t) P_{t|t-1} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo A_t a matriz ($n * n$) do estado associado, tal que:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Onde não se considera as entradas de controlo (u_t), pois considera-se que neste caso sejam inexistentes.

Considerando que todos os valores do vetor \hat{x} têm o mesmo peso no cálculo da próxima iteração podemos calcular o resultado obtido pelo filtro de Kalman.

No entanto é obvio que, considerando todos os valores do vetor \hat{x} com o mesmo peso sobre a próxima iteração, o ganho de kalman converge rapidamente.

Ou seja, o se passa é que a definição da matriz C não pode ser feita desta maneira. Pois a caracterização desta matriz é bastante complicada dado que é desconhecida, e apesar de se poder fazer uma aproximação, como por exemplo a média dos valores, não se consegue, no entanto, perceber de que forma as medidas estão relacionados com a ausência ou presença de objeto. Isto é, o filtro de Kalman é incapaz de devolver uma resposta binária sobre a presença e ausência de objeto, pois quando este é inexistente o sensor continua a debitar valores de tensão.

Assim, e apesar do uso do filtro de Kalman ser possível de aplicar nesta situação através do uso de um filtro de Kalman estendido, não é de todo o método mais adequado para o problema em causa.

Esta conclusão levou a mudar o método usado para a caracterização do ambiente de trabalho.

A segunda hipótese focou-se no uso de redes neuronais, que à priori sabe-se que é um método que permite estimar valores com base numa prévia aprendizagem com outros exemplos.

4.2 Redes neuronais para caracterização do espaço de trabalho

Nesta fase é essencial referir que as redes neuronais criadas foram produzidas pela ferramenta Neural Network Toolbox da Matlab.

A decisão de utilizar as redes neuronais surgiu por haver a necessidade de classificar as medições efetuadas pelo sensor. A classificação que se pretende fazer é baseada na Figura 4.4, onde existe uma deteção de obstáculo, uma não deteção e uma transição destes dois estados anteriores.

Com base nestas premissas procedeu-se à criação de um espaço de trabalho controlado, onde se conhece a distância aos obstáculos e onde o sensor navega horizontalmente de 1° em 1° fazendo um arco entre 30° e 140° de abertura. Os valores de tensão e desvio padrão são recolhidos e utilizados para calcular a distância ao obstáculo que posteriormente serão processados pela rede neuronal e resultaram numa classificação de presença ou ausência de obstáculo ou então a transição entre os 2, e a respetiva distância.

Na seguinte figura podemos observar o primeiro cenário onde as retas vermelhas representam os obstáculos colocados no espaço.

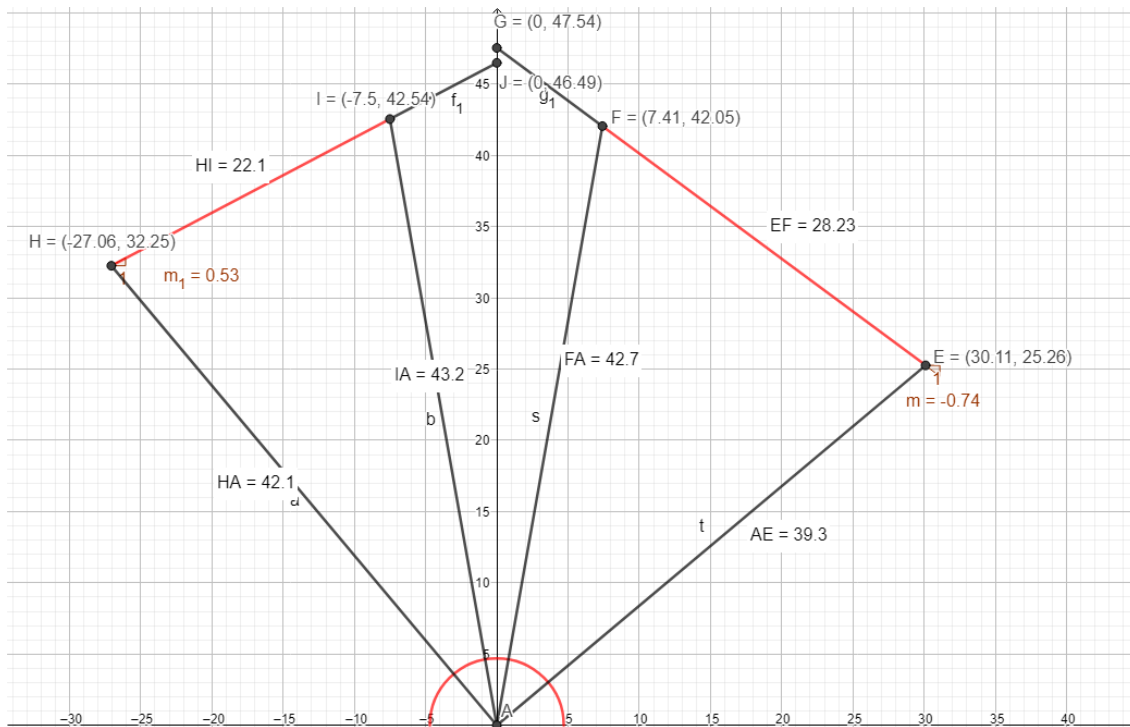


Figura 4.5 – Cenário 1 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Os valores observados na figura estão em centímetros, onde se observa o valor do declive de cada reta, o tamanho dos objetos e a distância dos pontos extremos destes ao sensor. Os restantes cenários encontram-se em anexo assim como as tabelas correspondentes à distância dos obstáculos e a classificação para cada um deles em cada um dos cenários (Anexo B).

Através dos valores resultantes da representação gráfica do primeiro cenário calcularam-se as equações das retas vermelhas. Assim obteve-se os valores de distância esperados para cada ponto do espaço onde existe obstáculo.

Tabela 4.1 – Distância real do objeto em relação ao sensor em cada ponto de cálculo.

Graus	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
X =	30,11	29,5425	28,975	28,4075	27,84	27,2725	26,705	26,1375	25,57	25,0025
Y =	25,2586	25,6786	26,0985	26,5185	26,9384	27,3584	27,7783	28,1983	28,6182	29,0382
Distância	34,6015	34,4427	34,2959	34,1615	34,0394	33,9299	33,833	33,7488	33,6774	33,6189
Graus	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
X =	24,435	23,8675	23,3	22,7325	22,165	21,5975	21,03	20,4625	19,895	19,3275
Y =	29,4581	29,8781	30,298	30,718	31,1379	31,5579	31,9778	32,3978	32,8177	33,2377
Distância	33,5733	33,5408	33,5212	33,5146	33,5211	33,5407	33,5732	33,6188	33,6772	33,7486
Graus	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
X =	18,76	18,1925	17,625	17,0575	16,49	15,9225	15,355	14,7875	14,22	13,6525
Y =	33,6576	34,0776	34,4975	34,9175	35,3374	35,7574	36,1773	36,5973	37,0172	37,4372
Distância	33,8327	33,9296	34,0391	34,1611	34,2955	34,4422	34,6011	34,7719	34,9545	35,1489
Graus	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
X =	13,085	12,5175	11,95	11,3825	10,815	10,2475	9,68	9,1125	8,545	7,9775
Y =	37,8571	38,2771	38,697	39,117	39,5369	39,9569	40,3768	40,7968	41,2167	41,6367
Distância	35,3547	35,5718	35,8001	36,0394	36,2894	36,55	36,8209	37,1021	37,3932	37,694
Graus	80	100	101	102	103	104	105	106	107	108
X =	7,41	-27,06	-26,408	-25,756	-25,104	-24,452	-23,8	-23,148	-22,496	-21,844
Y =	42,0566	32,1482	32,4938	32,8393	33,1849	33,5304	33,876	34,2216	34,5671	34,9127
Distância	38,0044	37,3208	37,1716	37,0348	36,9107	36,7993	36,7008	36,6152	36,5426	36,4832
Graus	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
X =	-21,192	-20,54	-19,888	-19,236	-18,584	-17,932	-17,28	-16,628	-15,976	-15,324
Y =	35,2582	35,6038	35,9494	36,2949	36,6405	36,986	37,3316	37,6772	38,0227	38,3683
Distância	36,4369	36,4038	36,3839	36,3773	36,3839	36,4038	36,4369	36,4832	36,5427	36,6153
Graus	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128
X =	-14,672	-14,02	-13,368	-12,716	-12,064	-11,412	-10,76	-10,108	-9,456	-8,804
Y =	38,7138	39,0594	39,405	39,7505	40,0961	40,4416	40,7872	41,1328	41,4783	41,8239
Distância	36,7008	36,7994	36,9107	37,0349	37,1717	37,3209	37,4826	37,6565	37,8425	38,0405
Graus	129	130								
X =	-8,152	-7,5								
Y =	42,1694	42,515								
Distância	38,2502	38,4715								

Com os valores de distância real calculados para cada ponto procedeu-se à recolha dos valores do sensor em cada um destes pontos. Sendo que se está a lidar com uma rede neuronal convém fazer a recolha dos dados mais do que uma vez, ou seja efetuar várias passagens horizontais. Em [44] discute-se o facto de que num estudo com grande número de dados e poucas classificações o problema de sobre ajuste é menor. Isto é, sendo que apenas se classifica de três maneiras, se aumentarmos o conjunto de dados, diminui-se o risco de sobre ajuste da rede neuronal.

Após a recolha dos dados do sensor para todos os cinco cenários testados, obtém-se imediatamente o conjunto de dados necessários para a criação de uma rede neuronal onde noutro

cenário semelhante esta irá prever facilmente a distância a que estão os obstáculos. No entanto continua a não haver uma classificação em relação à presença de obstáculo.

Para isso recorreu-se aos cálculos da característica de deteção horizontal efetuados na subsecção 3.7.1, onde se retira os valores da largura de deteção a cada distância. Estes valores serão usados para definir a zona de transição entre a presença de objeto e ausência deste, sendo o centro o ponto de fim e início do obstáculo.

Para definir a largura de deteção das diferentes distâncias recorreu-se à representação 3D da Figura 3.29 e retirou-se apenas a componente horizontal, tendo resultado na representação 2D seguinte.

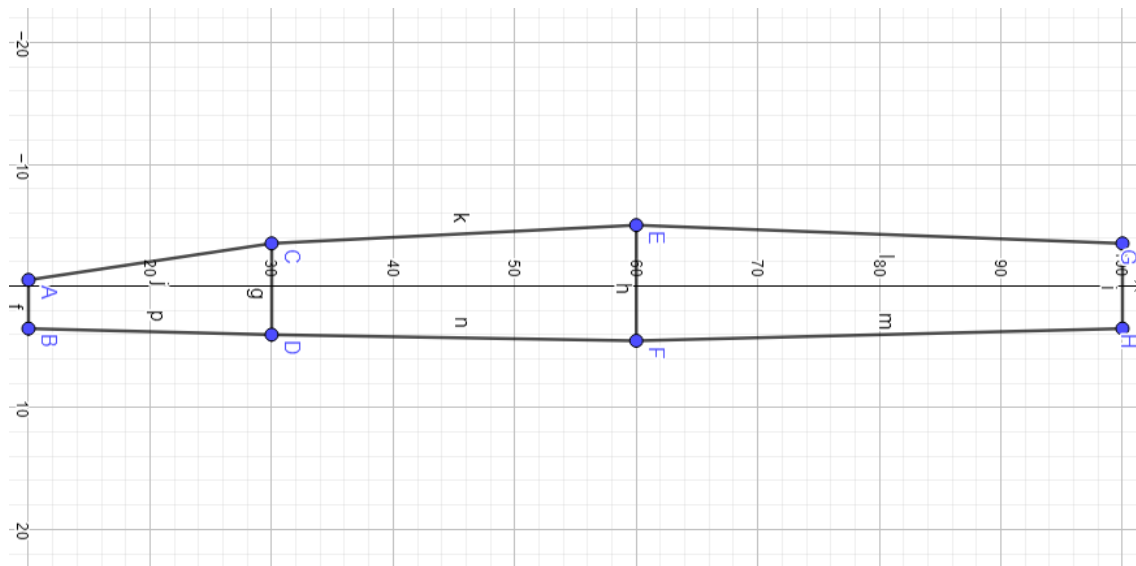


Figura 4.6 – Largura de deteção entre 10cm e 100cm de distância ao sensor.

Assim procedeu-se à classificação dos estados em ‘0’ para a ausência de obstáculo, ‘1’ para presença de obstáculo e ‘0.5’ para a transição entres os dois estados anteriores.

A tabela seguinte (Tabela 4.2 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto referentes ao cenário 1.Tabela 4.2) apresenta os dados recolhidos na primeira passagem assim como a classificação atribuída a cada ponto (‘Class’) e o valor esperado (‘Target’), sendo que apenas os valores a verde são os valores reais esperados.

Tabela 4.2 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto referentes ao cenário 1.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	0,0706	34,4529	34,0657	34,0657	35,2549	50,2857	112,129	89,8758	108,009	161,535
Class	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5
Target	0,0706	34,4529	34,0657	34,0657	35,2549	50,2857	112,129	89,8758	108,009	161,535
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	214,986	51,1467	37,2068	33,5014	35,2549	34,6499	34,0657	34,0657	34,0657	34,2582
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	34,6015	34,4427	34,2959	34,1615	34,0394	33,9299	33,833	33,7488	33,6774	33,6189
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	34,0657	34,0657	34,0657	33,3175	34,2582	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,6874
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	33,5733	33,5408	33,5212	33,5146	33,5211	33,5407	33,5732	33,6188	33,6772	33,7486
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,3175	34,0657
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	33,8327	33,9296	34,0391	34,1611	34,2955	34,4422	34,6011	34,7719	34,9545	35,1489
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	33,6874	33,5014	34,2582	34,0657	34,0657	34,2582	34,0657	34,0657	34,6499	34,6499
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	35,3547	35,5718	35,8001	36,0394	36,2894	36,55	36,8209	37,1021	37,3932	37,694
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	34,8492	35,2549	35,2549	35,8819	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,9075	38,6357
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	38,0044	35,2549	35,2549	35,8819	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,9075	38,6357
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	41,2835	42,1517	55,9435	161,535	118,938	118,938	126,635	110,03	126,635	59,8834
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5
Target	41,2835	42,1517	55,9435	161,535	118,938	118,938	126,635	110,03	126,635	59,8834
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	94,1838	68,1287	48,2566	40,1812	39,393	40,4511	39,9149	38,6357	38,8848	38,6357
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	37,3208	37,1716	37,0348	36,9107	36,7993	36,7008	36,6152	36,5426	36,4832	36,4369
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	38,6357	38,1471	37,9075	38,1471	37,2068	36,9791	37,2068	36,9791	37,2068	36,3127
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	36,4038	36,3839	36,3773	36,3839	36,4038	36,4369	36,4832	36,5427	36,6153	36,7008
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	37,2068	36,3127	36,096	36,096	36,096	36,9791	36,3127	36,096	36,096	36,096
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	36,7994	36,9107	37,0349	37,1717	37,3209	37,4826	37,6565	37,8425	38,0405	38,2502
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,2068	36,9791	37,2068	38,1471	38,8848	42,4494
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	38,4715	37,2068	37,2068	37,2068	37,2068	36,9791	37,2068	38,1471	38,8848	42,4494

Foram efetuadas outras passagens que corresponderam a resultados semelhantes, mas ao mesmo tempo diferentes. Assim ficaram adquiridos os dados necessários ao treino de uma rede neuronal capaz de classificar os resultados como uma presença ou ausência de obstáculo ou ainda como uma transição entre estes dois.

Tendo os dados recolhidos procedeu-se à criação das duas redes neurais necessárias. Ambas têm como dados de entrada a média dos valores de tensão e o respetivo desvio padrão dessas medidas, no entanto uma recebe como *target* a distância real do sensor ao obstáculo e a outra recebe a classificação acerca da presença de obstáculo.

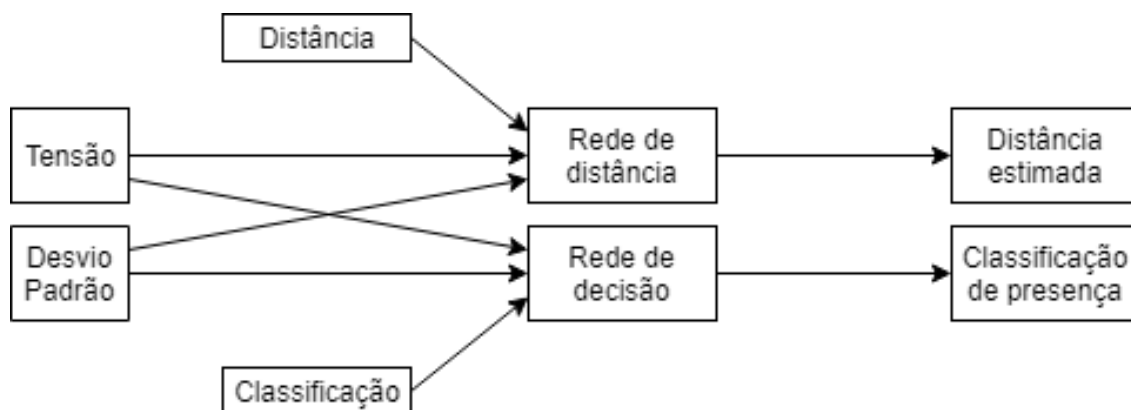


Figura 4.7 – Modelo de funcionamento do processamento pela rede neuronal.

Ou seja, foram criadas duas redes neurais que têm como dados de entrada a média da tensão de várias medidas consecutivas e o desvio padrão dessas medidas. No entanto é necessária a separação dos *targets*.

A rede neuronal utilizada para o cálculo da distância ao obstáculo faz uso de uma função de treino com base na otimização de Levenberg-marquardt, *trainlm*. Esta função de treino é a que melhores resultados apresenta em problemas de reconhecimento de padrões [45]. É também a mais eficiente dentro das hipóteses, sendo que o reduzido número de dados o permite ser [46].

Já na rede neuronal utilizada para a classificação em relação à presença do obstáculo foi utilizada a função de treino *trainscg* (Scaled Conjugate Gradient). Esta é particularmente boa para problemas onde existe uma rápida variação dos valores esperados, tal como acontece na variação de 0 para 0.5 e depois para 1 quando classificado como ausência de obstáculo, transição e presença de obstáculo, respetivamente.

Quando criada a rede neuronal para o cálculo da distância, esta foi treinada com os cenários 1, 2 e 5. Estes apresentam valores de distância que estão nos extremos (cenário 1 e 5) e valores de distância intermédios (cenário 2).

Quando testada a rede com um cenário desconhecido (cenário 3 ou 4) o resultado obtido foi bastante semelhante ao esperado. De facto, o resultado foi quase que igual, e isto em cenários com distâncias ainda desconhecidas para a rede neuronal.

Por exemplo no cenário 4:

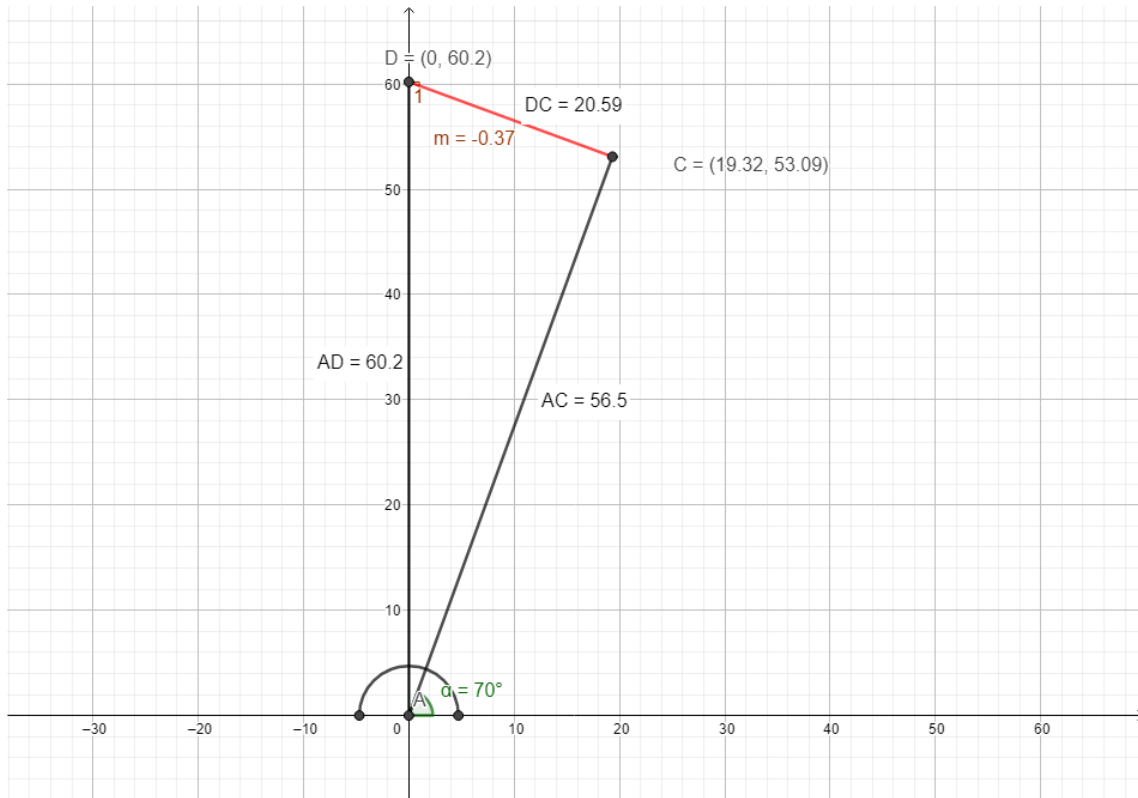


Figura 4.8 – Cenário 4 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Os valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto referentes ao cenário 4 encontram-se no Anexo B.

O valor calculado pela rede e o valor de distância real do obstáculo ao sensor são os apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Comparação entre a distância real e a calculada pela rede neuronal do cenário 4.

Graus	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Distância Real	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	51,76	51,77	51,80	51,86	51,93	52,02
Distancia calculada	99,78	88,50	53,46	44,18	51,78	50,70	51,21	51,21	51,69	52,44	51,86
Graus	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Distância Real	52,12	52,25	52,4	52,56	52,74	52,94	53,15	53,39	53,64	53,91	54,19
Distancia calculada	52,11	52,39	50,73	51,18	51,18	52,16	52,41	52,13	52,55	53,49	53,58
Graus	87	88	89	90	91	92	93	94	95		
Distância Real	54,49	54,81	55,15	55,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D		
Distancia calculada	53,49	53,64	55,49	55,45	55,38	55,45	56,74	57,70	61,06		

Como se pode observar a rede neuronal continua a calcular valores para distâncias onde não há a presença de obstáculo, como é o caso das distâncias marcadas como N/D na tabela acima. Dai surgir a necessidade de criar uma classificação quanto à presença de obstáculo.

Para isso criou-se a rede neuronal destinada à classificação quanto à presença de obstáculos. Esta rede foi igualmente treinada com os cenários 1, 2 e 5.

Testou-se a rede neuronal para os outros dois cenários (3 e 4), tendo-se obtido zonas classificadas como ausência de obstáculos, transição entre deteção e não deteção de obstáculos e presença de obstáculos. É necessário lembrar que o estado de transição entre os dois estados de presença é variável consoante a distância a que está o obstáculo, sendo a relação apresentada na Figura 4.6.

Continuando o exemplo do cenário 4 o resultado obtido comparativamente ao que era esperado apresenta-se representado na seguinte tabela.

Tabela 4.4 – Comparação entre a classificação real e a estimada pela rede neuronal relativa ao cenário 4.

Graus	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Classificação real	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Classificação calculada	0,24	0,38	0,68	0,65	0,77	0,61	0,71	0,69	0,60	0,73	0,76
Graus	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Classificação real	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Classificação calculada	0,69	0,74	0,64	0,73	0,73	0,65	0,73	0,68	0,70	0,75	0,64
Graus	87	88	89	90	91	92	93	94	95		
Classificação real	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0		
Classificação calculada	0,75	0,60	0,71	0,71	0,63	0,71	0,62	0,58	0,60		

Como foi referido anteriormente os valores relativos às diferentes classificações são 0, 0,5 e 1. No entanto a rede neuronal efetua cálculos para estimar os valores, e logo os resultados fluctuam entre 0 e 1. Contudo, é intuitiva a aproximação efetuada pela rede neuronal em questão, pois

os valores estimados tendem a oscilar perto do valor real. Ou seja, facilmente se cria uma condição de pertença dividindo o intervalo de 0 a 1 em três partes.

Isto é, uma não deteção resulta em valores, dos cálculos da rede neuronal, inferiores a 0.33. Uma transição corresponde a valores entre 0.33 e 0.66. Uma deteção resulta em valores superiores a 0.66.

Assim, aplicada a condição de pertença aos dados da Tabela 4.4, resulta as seguintes classificações.

Tabela 4.5 – Comparação entre a classificação real e a estimada pela rede neuronal relativa ao cenário 4 após aplicada a condição de pertença.

Graus	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Classificação real	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Classificação calculada	N	T	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Graus	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Classificação real	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Classificação calculada	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Graus	87	88	89	90	91	92	93	94	95		
Classificação real	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0		
Classificação calculada	O	O	O	O	O	O	T	T	T		

N - Ausência de obstáculo

T - Transição entre presença e ausência de obstáculo

O - Presença de obstáculo

Como se pode constatar através da análise dos dados da Tabela 4.5, existem pontos no espaço que na realidade são transições e que são consideradas como presença de obstáculo. No entanto o erro é relativamente baixo, e a situação até é favorável pois é preferível contabilizar como uma falsa deteção do que contabilizar como uma falsa ausência de obstáculo.

Para uma melhor perceção dos resultados, apresenta-se na figura seguinte a representação gráfica dos resultados obtidos utilizando usando a rede neuronal para calcular a distância ao obstáculo e classificar a medida quanto à presença do mesmo relativamente ao cenário 1 (Figura 4.5 e Tabela 4.2).

No primeiro gráfico observa-se a azul os resultados da distância real, sendo que se decidiu considerar a distância de 150cm como a ausência de obstáculo, isto é, a distância de 150cm não é efetivamente a distância a que está o obstáculo, mas sim a distância que se convencionou para descrever a ausência de obstáculo.

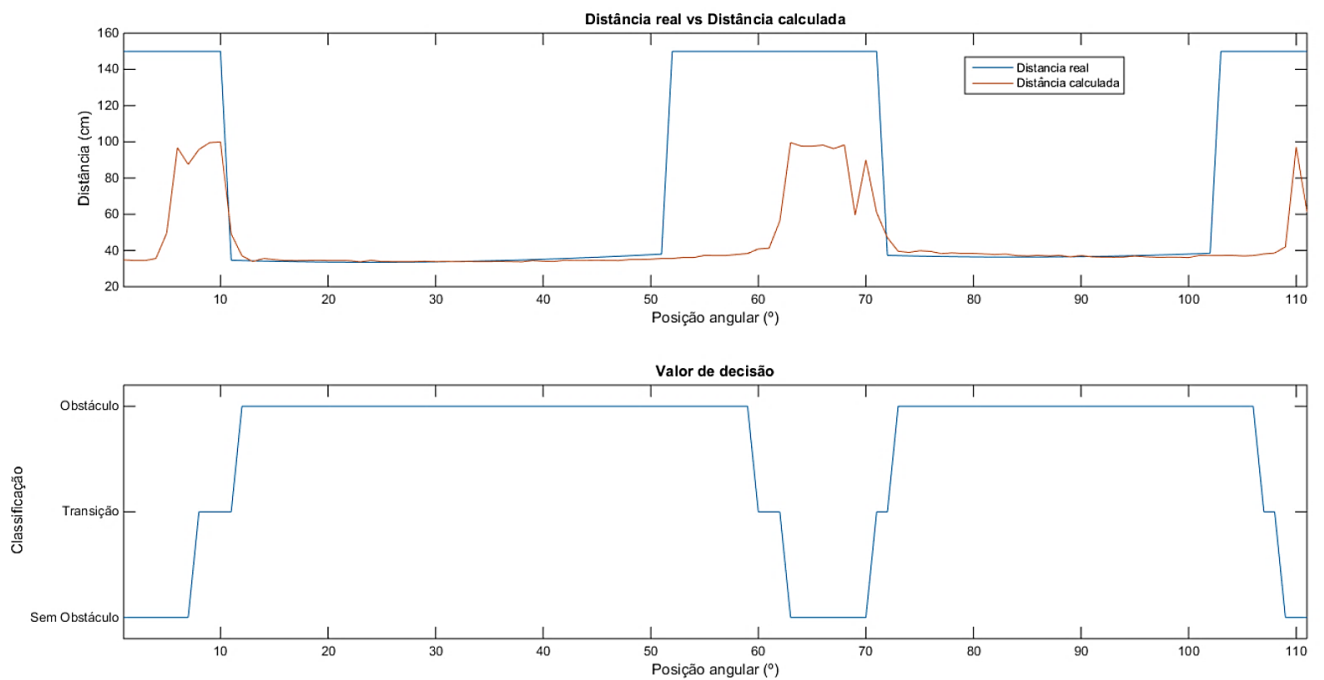


Figura 4.9 – Representação gráfica dos resultados obtidos utilizando a rede neuronal criada para calcular a distância e classificar a medida quanto à presença de objeto.

A vermelho apresenta-se os resultados obtidos dos cálculos efetuados pela rede neuronal para o cálculo da distância. Como se pode constatar, a ausência de obstáculo é notória nos resultados da rede neuronal, no entanto e não conhecendo o cenário em estudo facilmente se confundia a ausência de obstáculo com a presença de um a cerca de 90cm.

Para complementar esta informação adiciona-se a outra proveniente de outra rede neuronal que classifica as medições efetuadas quanto à presença, ausência de obstáculo ou transição entres esses estados. E observando o segundo gráfico da Figura 4.9 constata-se que a informação relativa à classificação é suficientemente precisa para, juntamente com a informação da distância, criar um perfil do espaço que se assemelha ao perfil real do mesmo.

Agregando a informação das duas redes neuronais obtém-se um resultado que se assemelha ao perfil real do ambiente de trabalho (Figura 4.10).

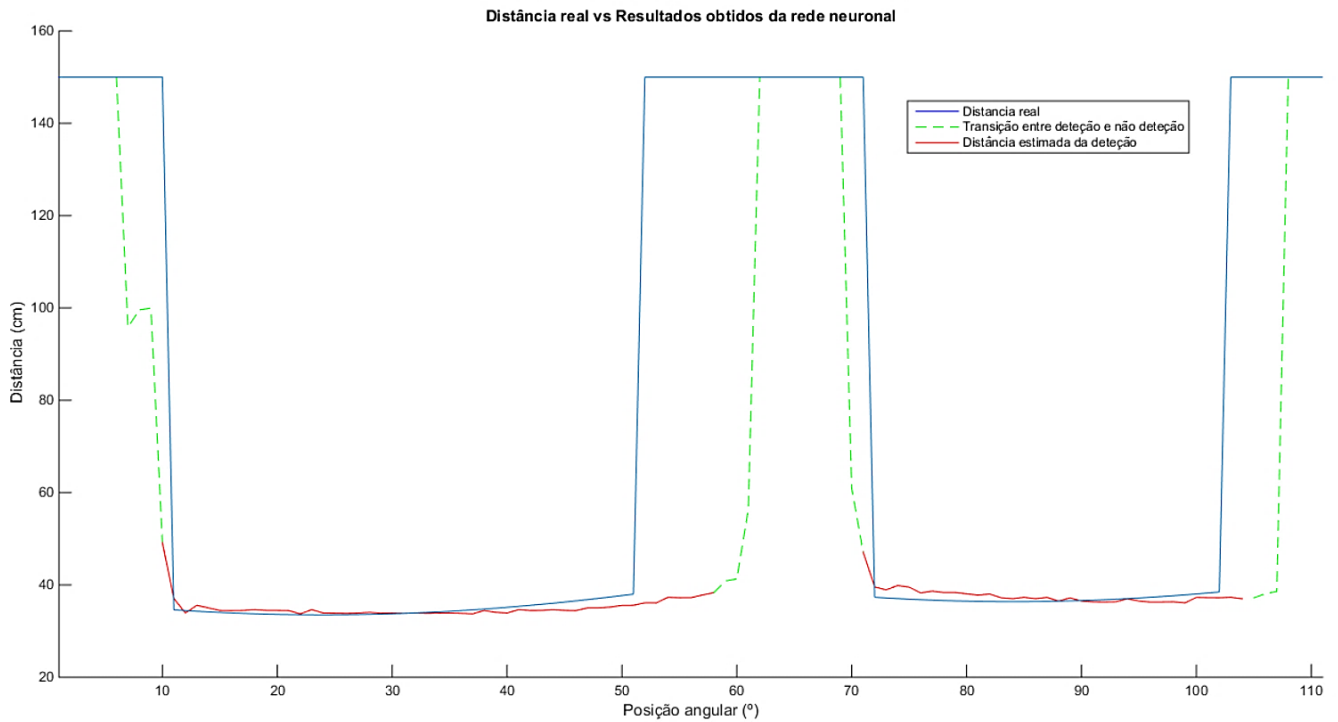


Figura 4.10 – Comparação da distância real dos obstáculos no espaço e a aglomeração de informação produzida pela rede neuronal.

Como se pode constatar na Figura 4.10, a linha azul representa a distância real dos obstáculos, sendo que o valor de distância de 150cm é considerada uma ausência de obstáculo.

Já a linha tracejada verde representa a transição do estado de não detecção, que se considera igualmente 150cm, para o estado de detecção ou vice-versa. Os valores de distância representados por esta linha tracejada são resultados produzidos pela rede neuronal.

No caso da linha vermelha, estes são valores produzidos pela rede neuronal e que são considerados pela rede neuronal de classificação como detecção de obstáculo.

Percebe-se com estes testes que é possível criar um sistema que faça uma caracterização horizontal do espaço de trabalho, sendo que facilmente se transpõe os métodos utilizados para uma caracterização vertical.

5 Conclusões e trabalho futuro

5.1 Conclusões

Com este trabalho adquiriu-se uma melhor caracterização do funcionamento do sensor utilizado e dos fatores que afetam as suas medições.

Concluiu-se que existem vários fatores que podem influenciar o funcionamento deste elemento sensor. A caracterização do elemento sensor passou por perceber o que pode influenciar as medidas efetuadas por este. Assim testaram-se alguns fatores que num ambiente interior e/ou exterior influenciam o elemento sensor. A maioria dos fatores testados não influenciaram as medições do sensor.

No entanto fatores como a cor do objeto mostraram ser determinantes no funcionamento do elemento sensor. Percebeu-se também que o que influenciava as medidas efetuadas era, mais precisamente, o pigmento constituinte do obstáculo. Isto porque a olho nu, ou seja, dentro da gama da luz visível, certos obstáculos usados durante o teste da Subsecção 3.5.3 eram pretos e compostos por papel. Contudo, verificou-se que os resultados obtidos variavam bastante entre estes dois. Assim concluiu-se que o pigmento é um fator determinante quando se pretende efetuar medidas com este tipo de elemento sensor.

Mas a situação complicou-se quando se juntou ao fator pigmento o material constituinte do obstáculo, algo que dificilmente se separa. Pois então o teste da influência do pigmento do obstáculo fica comprometido e torna-se um problema conjunto, já que se verificou que o material constituinte do obstáculo é também um fator que influencia as medições.

Não obstante, estes são problemas que podem ser facilmente resolvidos juntando a informação de outros sensores capazes de fazer uma distinção de cores, e até do pigmento, e do material do obstáculo. Assim seria apenas necessária uma recalibração do elemento sensor em estudo

de acordo com o obstáculo em questão. E como se verificou na Subsecção 3.1.1, uma recalibração do elemento sensor é um processo simples e rápido.

Criou-se uma curva de calibração e obteve-se uma expressão matemática que relaciona a informação do sensor com a distância ao alvo. Esta expressão é válida para as distâncias de 10cm a 100cm.

Constatou-se que a curva de calibração se alterava com o tempo. Assim desenvolveu-se um método que permitisse recalibrar o sensor.

Outros fatores podiam ter sido testados, mas estes foram os focados dada a sua provável alteração em qualquer um dos meios.

Concluiu-se que o sensor é relativamente robusto a alterações do meio e que apresenta resultados mais coerentes e invariantes ao longo do tempo quando o obstáculo é plano de cor branca. Por esta razão, os testes realizados para a caracterização do espaço de trabalho, foram todos com um obstáculo plano e branco.

Para testar se o elemento sensor era capaz de efetuar uma caracterização do espaço foi necessário primeiro entender de que forma este efetuava uma deteção. Os testes para averiguar a característica de deteção horizontal e vertical resultaram num espaço 3D onde o elemento sensor é capaz de perceber um obstáculo. Com esta informação foi possível começar a criar uma unidade de processamento capaz de, com apenas a informação do elemento sensor, calcular a distância a obstáculos e classificar o espaço de deteção.

O próximo passo passou por utilizar a informação recolhida acerca do funcionamento do sensor de forma a criar um sistema capaz de caracterizar o ambiente de trabalho.

Numa primeira abordagem tentou-se solucionar o problema com o que parecia ser uma solução óbvia, um Filtro de Kalman. No entanto depressa se concluiu que uma solução deste género até poderia resolver a questão do cálculo da distância ao obstáculo, mas não era uma solução capaz de classificar o obstáculo como presente ou não presente. Uma resposta binária simplesmente não era possível. Poderíamos ter avançado para um Filtro de Kalman estendido, no entanto preferiu-se explorar outras opções. A opção que se seguiu foi o uso de redes neuronais.

O uso das redes neuronais provou ser um sucesso. Usou-se duas redes neuronais, uma para o cálculo da distância e a outra para a classificação quanto à presença de objeto.

Após treinar as redes com alguns cenários, testaram-se as mesmas com uma disposição dos obstáculos nunca antes vista pela rede. O resultado foi bastante bom, onde se verificou que este método permitia não só calcular a distância aproximada ao obstáculo com bastante precisão como ainda confirmar a existência ou ausência deste.

A conclusão deste trabalho é de que é possível fazer uma caracterização do espaço de trabalho com um elemento sensor que apenas disponibiliza uma tensão à saída. É apenas necessária a criação de duas redes neuronais, uma para o cálculo da distância ao obstáculo e outra para classificar o espaço de deteção quanto à presença desse mesmo obstáculo.

Assim, cumpriu-se o objetivo de caracterizar de um sensor de medição de distância por infravermelhos que se baseia no princípio da triangulação para efetuar o cálculo dessa distância, cuja informação é relevante e é algo que carece na bibliografia atual. Complementando ainda esta informação com a conclusão de que é possível utilizar um sensor deste tipo para traçar um perfil horizontal do ambiente envolvente.

5.2 Trabalhos futuros

Com a informação recolhida neste trabalho é fácil prever que um sistema capaz de traçar o perfil global do espaço seja possível de implementar, já que o mesmo sistema usado para a traçar o perfil horizontal pode facilmente ser usado para traçar o perfil vertical.

Outra possibilidade que se torna possível é o uso conjunto de vários sensores iguais aos utilizados nesta investigação. Pois como foi verificado, estes sensores não sofrem alterações quando utilizados em conjunto com outros iguais. O que poderá permitir criar um sistema de deteção mais abrangente e rápido do que o utilizado nesta investigação.

A adição de outros fatores que possam ser interessantes para o aprofundamento da caracterização do sensor em causa ou até a generalização desta é também uma ação de interesse.

Referências

- [1] A. Discant, A. Rogozan, C. Rusu, and A. Bensrhair, “Sensors for obstacle detection - A survey,” *ISSE 2007 - 30th Int. Spring Semin. Electron. Technol. 2007; Conf. Proc. Emerg. Technol. Electron. Packag.*, pp. 100–105, 2007.
- [2] T. S. Ben Heckathorn, Tim MacPherson, “Distance sensors,” 2009. .
- [3] S. Adarsh, S. M. Kaleemuddin, D. Bose, and K. I. Ramachandran, “Performance comparison of Infrared and Ultrasonic sensors for obstacles of different materials in vehicle/ robot navigation applications,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 149, no. 1, 2016.
- [4] V. M. Václav KRYŠ, Tomáš KOT, Ján BABJAK, “Testing and Calibration of Ir Proximity Sensors,” *Acta Mech. Slovaca*, vol. 3, pp. 1–6, 2008.
- [5] H. Park, S. Lee, and W. Chung, “Obstacle detection and feature extraction using 2.5 D range sensor system,” *SICE-ICASE, 2006. Int. ...*, pp. 2000–2004, 2006.
- [6] H. D. Eom and J. W. Jeon, “Environment map building using low-cost IR sensors and a servo motor for mobile robot,” *Proc. Int. Symp. Consum. Electron. ISCE*, pp. 2–3, 2014.
- [7] SHARP, “GP2Y0A60SZ0F DataSheet,” pp. 1–10, 2013.
- [8] R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*. 2000.
- [9] M. Li, Y. Bekiroglu, D. Kragic, and A. Billard, “Learning of grasp adaptation through experience and tactile sensing,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, no. Iros, pp. 3339–3346, 2014.
- [10] S. Luo, W. Mou, K. Althoefer, and H. Liu, “Iterative Closest Labeled Point for tactile object shape recognition,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2016–Novem, pp. 3137–3142, 2016.
- [11] J. M. Gandarias, J. M. Gomez-De-Gabriel, and A. Garcia-Cerezo, “Human and object recognition with a high-resolution tactile sensor,” in *Proceedings of IEEE Sensors, 2017*, vol. 2017–Decem, pp. 1–3.
- [12] S. Brahmhbhatt, *Practical OpenCV*. Berkeley, California: Apress, 2013.
- [13] A. A. Ahmed, M. K. Elbashir, and A. A. Osman, “Distance alert system using Stereo vision and feature extraction,” in *Proceedings - 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering, ICCCEE 2017*,

- 2017, pp. 3–7.
- [14] M. N. A. Wahab, N. Sivadev, and K. Sundaraj, “Target distance estimation using monocular vision system for mobile robot,” *2011 IEEE Conf. Open Syst.*, pp. 11–15, 2011.
 - [15] F. Blais, “Review of 20 years of range sensor development,” *J. Electron. Imaging*, vol. 13, no. 1, p. 231, 2004.
 - [16] J. Kim, J. Lim, J. Lim, S. Hann, J. Kim, and Y. Kim, “High Peak Power Laser for Range Detection and Object Recognition of 3D Image Scanning,” pp. 2–3, 2013.
 - [17] H. F. Rate, “HDL-64E.” [Online]. Available: http://velodynelidar.com/docs/datasheet/63-9194_Rev-F_HDL-64E_S3_Data_Sheet_Web.pdf. [Accessed: 01-Feb-2018].
 - [18] T. Description, “LMS200/211/221/291 Laser Measurement Systems.” [Online]. Available: <http://sicktoolbox.sourceforge.net/docs/sick-lms-technical-description.pdf>. [Accessed: 01-Feb-2018].
 - [19] Y. Hsu, Y. Ciou, and J. Perng, “Object recognition system design in regions of interest based on AdaBoost algorithm BT - 20th International Conference on Information Fusion, Fusion 2017, July 10, 2017 - July 13, 2017,” 2017, p. China Gezhouba Group No.3 Engineering Co., Ltd (CG).
 - [20] M. P. Muresan, S. Nedevschi, and I. Giosan, “Real-Time Object Detection Using a Sparse 4-Layer LIDAR,” pp. 317–322, 2017.
 - [21] Y. Moon, S. Go, K. Yu, and M. Lee, “Development of 3D laser range finder system for object recognition,” in *2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 2015, pp. 1402–1405.
 - [22] Y. Zhuang, Y. Li, and W. Wang, “Robust indoor scene recognition based on 3D laser scanning and bearing angle image,” in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, pp. 4042–4047.
 - [23] J. Kim and H.-B. Kang, “LiDAR Based 3D Object Detection Using CCD Information,” in *2017 IEEE Third International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)*, 2017, pp. 303–309.
 - [24] F. Galip, M. H. Sharif, M. Caputcu, and S. Uyaver, “Recognition of Objects from Laser Scanned Data Points Using SVM,” in *Proceedings - 2016 1st International Conference on Multimedia and Image Processing, ICMIP 2016*, 2016, pp. 28–35.
 - [25] N. A. Singh and M. Borschbach, “Effect of external factors on accuracy of distance measurement using ultrasonic sensors,” in *2017 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, 2017, pp. 266–271.
 - [26] B. Kreczmer, “Objects Localization and Differentiation Using Ultrasonic Sensors,” in *Robot Localization and Map Building*, InTech, 2010, pp. 521–545.
 - [27] Mechatronic Systems, “Devantech SRF08 UltraSonic Ranger,” pp. 1–16.
 - [28] P. M. Novotny and N. J. Ferrier, “Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances,” *Proc. 1999 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (Cat. No.99CH36288C)*, vol. 2, no. May, pp. 1644–1649, 1999.
 - [29] G. Benet, F. Blanes, J. E. Simó, and P. Pérez, “Using infrared sensors for distance measurement in mobile robots,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 40, no. 4, pp. 255–266, 2002.
 - [30] N. F. Jansen, “Short Range Object Detection and Avoidance,” *Traineeship Rep.*, no. 916, p. 17, 2010.
 - [31] T. Stanescu, C. Moldovan, V. Dolga, and C. Pop, “Object’s colour influence on the

- Reflective Infrared Sensor Parameters,” 2015.
- [32] P. Malheiros, J. Gonçalves, and P. Costa, “Towards a more Accurate Infrared Distance Sensor Model,” *Manuf. Syst. Eng. Unit*, pp. 1–15, 2010.
- [33] Y. Do and J. Kim, “Infrared range sensor array for 3D sensing in robotic applications,” *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 10, 2013.
- [34] S. Correa, “Probabilidade e estatística,” *Belo Horiz. PUC Minas Virtuais*, p. 80, 2003.
- [35] J. O. Rawlings, S. G. Pantula, and D. a. Dickey, *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. 1998.
- [36] J. Arias and L. Latifzadeh, “Accuracy and Precision.” [Online]. Available: <https://www.lahc.edu/classes/chemistry/arias/101.html>. [Accessed: 20-Feb-2018].
- [37] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, and C. K. Yuen, *Digital Signal Processing*, vol. 8, no. 2. 1999.
- [38] Texas instruments Inc., “LM317 3-Terminal Adjustable Regulator 1,” 2016.
- [39] J. Prins, “What are outliers in the data?,” *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*, 2012. [Online]. Available: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/prc16.htm>. [Accessed: 10-Sep-2018].
- [40] L. Di Stefano and A. Bulgarelli, “A simple and efficient connected components labeling algorithm,” in *Proceedings - International Conference on Image Analysis and Processing, ICIAP 1999*, 1999.
- [41] Zalophus, “Super Ultra Compact Pan/Tilt Camera Mount - V1 Upgrade,” 2016. [Online]. Available: <https://www.youmagine.com/designs/super-ultra-compact-pan-tilt-camera-mount-v1-upgrade>.
- [42] H. Choset, “Lec. 19: Localization, Mapping, SLAM, and the Kalman Filter According to George,” pp. 1–64, 2006.
- [43] T. Kalman, S. Mi, and F. Bezier, “Kalman Filter Applications Predict-Update Equations,” *Kalman Filter Tank Fill.*, no. September 2008, pp. 1–25, 2008.
- [44] J. Subramanian and R. Simon, “Overfitting in prediction models - Is it a problem only in high dimensions?,” *Contemp. Clin. Trials*, vol. 36, no. 2, pp. 636–641, 2013.
- [45] H. Mustafidah, S. Hartati, R. Wardoyo, and A. Harjoko, “Selection of Most Appropriate Backpropagation,” vol. 14, no. 2, pp. 92–95, 2014.
- [46] M. T. Hagan, H. B. Demuth, and M. H. Beale, “Neural Network Design,” *Bost. Massachusetts PWS*, vol. 2, p. 896, 1995.

Anexos

Anexo A Código .ino utilizado para aquisição dos dados

```
#include <Servo.h>

Servo myXservo; // create servo object to control X servo
Servo myYservo; // create servo object to control Y servo

int posX = 30; // variable to store X servo position
int posY = 30; // variable to store Y servo position
const int sharp = A0;
long sensorValue = 0;
String desvPV_str = "";
int voltage;
int amostras = 20;

void setup()
{
  Serial.begin(57600);
  myXservo.attach(10); // attaches X servo on pin 10 to the servo
  object
  delay(100); // Waits to make sure everything is powered up
  before sending or receiving data
}

void loop()
{
  double Y[110] = {0};
  double DesvP_V[110] = {0};
  double results[3];
  double voltage[110] = {0};
  //delay(100);
  for(posX = 30; posX <= 140; posX +=1) // goes from 30 degrees to 140
  degrees
  {
    myXservo.write(posX); // tell servo to go to position
    in variable 'pos'
    delay(20);
    GetDist(&results[0]);

    voltage[posX-30] = results[0];
    DesvP_V[posX-30] = results[1];
    Y[posX-30] = results[2];

  }

  for(int i=0;i<110;i++){
    Serial.print(voltage[i],4);Serial.print(",");
  }

  Serial.println();

  for(int i=0;i<110;i++){
    Serial.print(DesvP_V[i],4);Serial.print(",");
  }

  Serial.println();

  for(int i=0;i<110;i++){
    Serial.print(Y[i],4);Serial.print(",");
  }

  Serial.println();
}
```

Figura A.1 – Código .ino utilizado para a aquisição dos dados e cálculo da média da tensão e respectivo desvio padrão

Anexo B Cenários e resultados destes

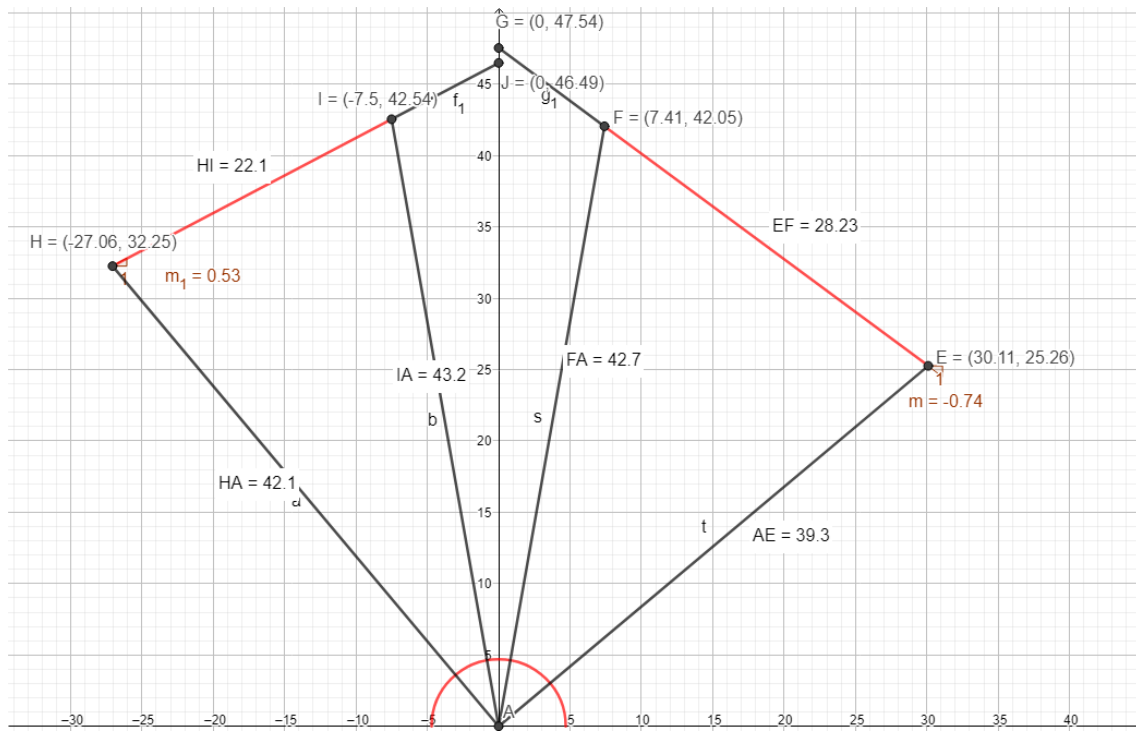


Figura B.1 – Cenário 1 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Tabela B.1 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 1.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	0,0706	34,4529	34,0657	34,0657	35,2549	50,2857	112,129	89,8758	108,009	161,535
Class	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5
Target	0,0706	34,4529	34,0657	34,0657	35,2549	50,2857	112,129	89,8758	108,009	161,535
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	214,986	51,1467	37,2068	33,5014	35,2549	34,6499	34,0657	34,0657	34,0657	34,2582
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	34,6015	34,4427	34,2959	34,1615	34,0394	33,9299	33,833	33,7488	33,6774	33,6189
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	34,0657	34,0657	34,0657	33,3175	34,2582	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,6874
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	33,5733	33,5408	33,5212	33,5146	33,5211	33,5407	33,5732	33,6188	33,6772	33,7486
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,5014	33,3175	34,0657
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	33,8327	33,9296	34,0391	34,1611	34,2955	34,4422	34,6011	34,7719	34,9545	35,1489
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	33,6874	33,5014	34,2582	34,0657	34,0657	34,2582	34,0657	34,0657	34,6499	34,6499
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	35,3547	35,5718	35,8001	36,0394	36,2894	36,55	36,8209	37,1021	37,3932	37,694
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	34,8492	35,2549	35,2549	35,8819	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,9075	38,6357
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	38,0044	35,2549	35,2549	35,8819	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,9075	38,6357
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	41,2835	42,1517	55,9435	161,535	118,938	118,938	126,635	110,03	126,635	59,8834
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5
Target	41,2835	42,1517	55,9435	161,535	118,938	118,938	126,635	110,03	126,635	59,8834
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	94,1838	68,1287	48,2566	40,1812	39,393	40,4511	39,9149	38,6357	38,8848	38,6357
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	37,3208	37,1716	37,0348	36,9107	36,7993	36,7008	36,6152	36,5426	36,4832	36,4369
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	38,6357	38,1471	37,9075	38,1471	37,2068	36,9791	37,2068	36,9791	37,2068	36,3127
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	36,4038	36,3839	36,3773	36,3839	36,4038	36,4369	36,4832	36,5427	36,6153	36,7008
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	37,2068	36,3127	36,096	36,096	36,096	36,9791	36,3127	36,096	36,096	36,096
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	36,7994	36,9107	37,0349	37,1717	37,3209	37,4826	37,6565	37,8425	38,0405	38,2502
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	35,8819	37,2068	37,2068	37,2068	37,2068	36,9791	37,2068	38,1471	38,8848	42,4494
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	38,4715	37,2068	37,2068	37,2068	37,2068	36,9791	37,2068	38,1471	38,8848	42,4494

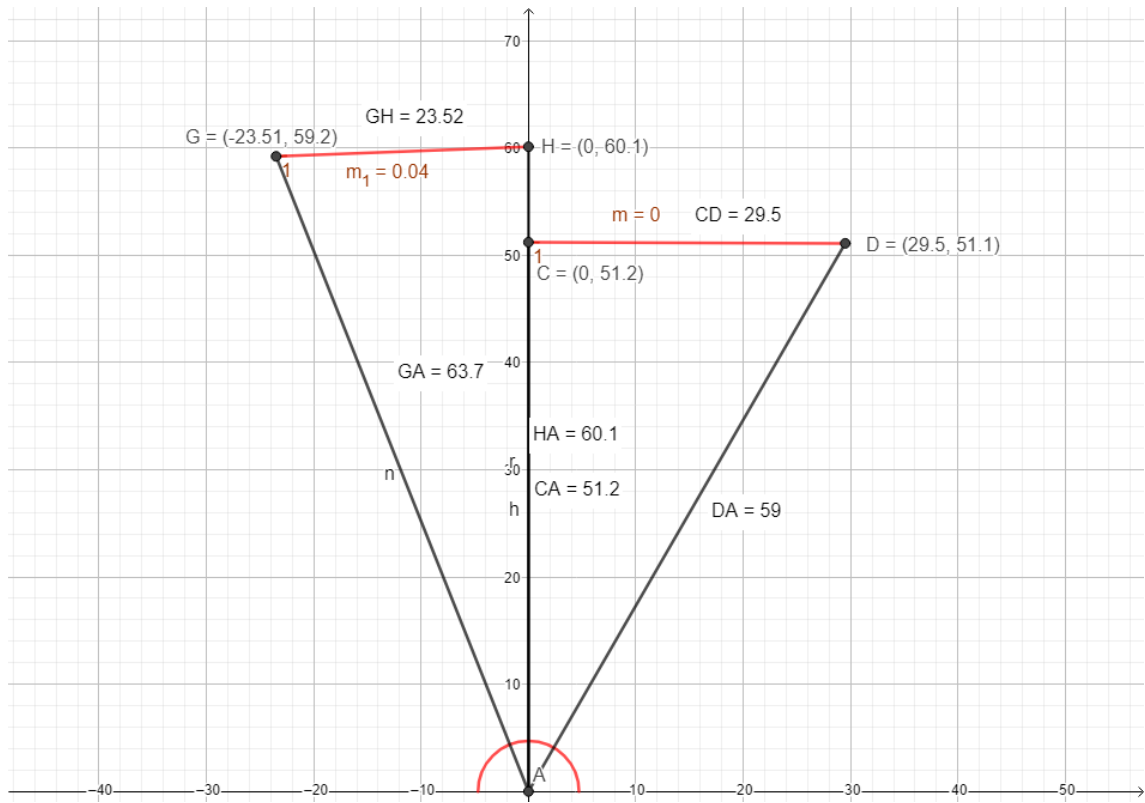


Figura B.2 – Cenário 2 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Tabela B.2 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 2.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	70,5622	79,0456	223,203	232,075	385,531	-1983,2	232,075	232,075	820,595	340,461
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	70,5622	79,0456	223,203	232,075	385,531	-1983,2	232,075	232,075	820,595	340,461
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	-232,04	524,502	-69,243	-54,576	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-232,04	524,502	-69,243	-54,576	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	-54,054	-54,054	-54,576	-69,243	118,938	129,428	61,7496	52,0382	57,0146	52,9618
Class	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	-54,054	-54,054	-54,576	-69,243	118,938	129,428	61,7496	52,0382	57,0146	52,9618
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	52,4959	52,0382	52,9618	52,0382	51,5885	51,5885	51,5885	50,2857	50,7125	50,2857
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	54,3905	53,906	53,434	52,9749	52,529	52,0967	51,6781	51,2737	50,8838	50,5086
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	49,048	49,048	49,048	49,048	47,8706	48,649	47,8706	47,4908	48,2566	47,8706
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	50,1484	49,8036	49,4745	49,1612	48,8642	48,5837	48,3199	48,0731	47,8435	47,6314
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	46,7493	46,7493	46,7493	46,7493	46,7493	46,3873	46,7493	46,7493	47,4908	48,2566
Class	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	47,437	47,2604	47,1019	46,9616	46,8397	46,7363	46,6515	46,5854	46,5381	46,5096
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	49,048	50,7125	52,0382	52,9618	53,4361	54,9125	54,9125	54,9125	54,9125	55,4231
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1
Target	46,5	55,4	55,3645	55,352	55,3626	55,3961	55,4527	55,5322	55,6346	55,7597
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	56,4739	57,0146	57,0146	56,4739	57,0146	58,7015	58,1281	58,7015	58,7015	58,7015
Class	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	55,9073	56,0774	56,2697	56,484	56,7201	56,9778	57,2567	57,5566	57,8772	58,2182
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	58,7015	59,8834	60,4926	60,4926	73,1781	106,061	200,248	361,594	340,461	214,986
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
Target	58,5792	58,9599	60,4926	60,4926	73,1781	106,061	200,248	361,594	340,461	214,986
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	340,461	138,604	223,203	223,203	289,693	181,588	200,248	223,203	200,248	340,461
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	340,461	138,604	223,203	223,203	289,693	181,588	200,248	223,203	200,248	340,461
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	263,514	223,203	275,983	232,075	252,126	275,983	955,533	340,461	304,842	289,693
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	263,514	223,203	275,983	232,075	252,126	275,983	955,533	340,461	304,842	289,693

Apenas os valores a verde são os valores reais esperados.

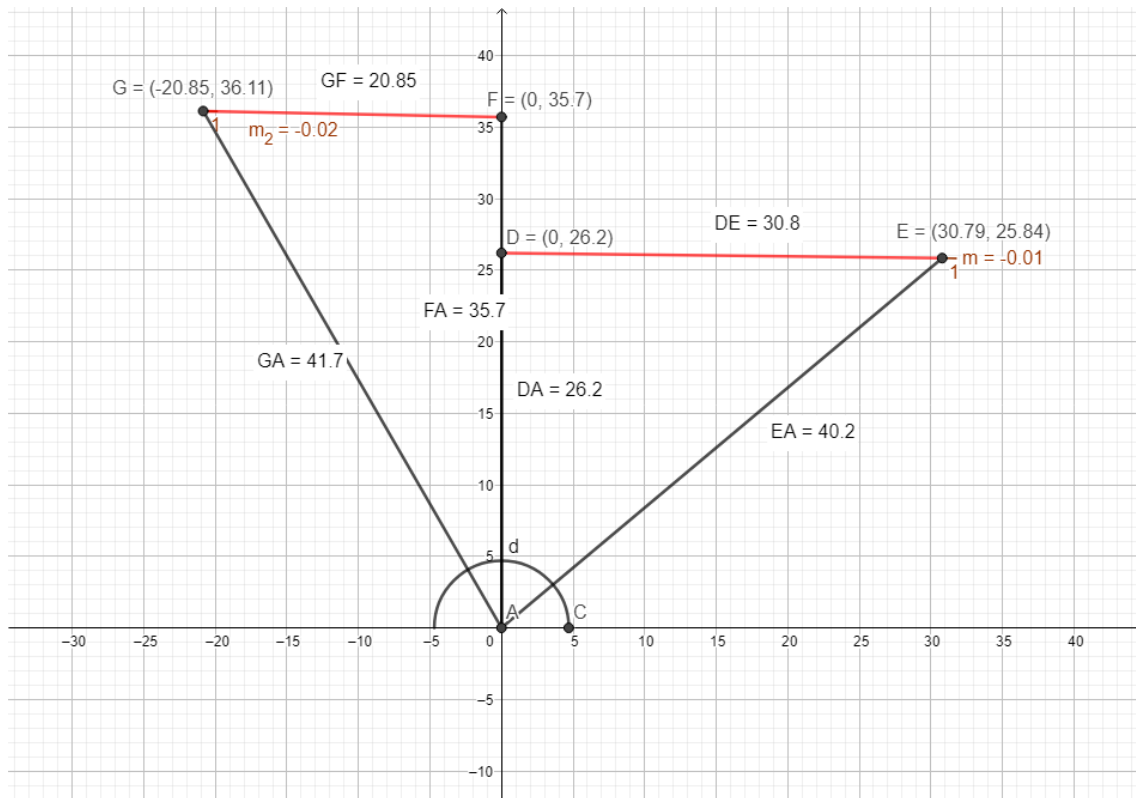


Figura B.3 – Cenário 3 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Tabela B.3 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 3.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	123,96	83,52	88,53	149,19	200,25	54,41	43,06	34,85	32,96	32,43
Class	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5
Target	123,96	83,52	88,53	149,19	200,25	54,41	43,06	34,85	32,96	32,43
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	31,75	31,75	31,42	30,94	30,79	29,88	29,45	29,45	28,89	28,49
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	35,41	34,95	34,48	34,03	33,57	33,12	32,68	32,24	31,80	31,38
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	28,10	26,99	26,63	26,18	25,96	25,64	25,22	25,11	24,61	24,51
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	30,95	30,53	30,12	29,71	29,31	28,92	28,53	28,16	27,78	27,42
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	24,42	23,76	23,85	23,49	23,31	23,31	22,72	22,63	22,07	21,92
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	27,06	26,71	26,37	26,04	25,72	25,40	25,10	24,80	24,52	24,24
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	21,84	21,61	21,54	21,46	21,39	21,24	21,17	21,03	21,03	20,96
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	23,98	23,72	23,48	23,25	23,03	22,82	22,63	22,45	22,28	22,12
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	21,03	20,82	20,68	20,82	20,75	20,75	20,82	20,75	21,03	21,17
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	21,98	21,85	21,73	21,63	21,54	21,47	21,41	21,37	21,34	21,32
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	22,72	24,51	27,10	29,03	30,33	30,63	30,79	30,63	30,79	30,79
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	21,32	31,00	31,02	31,05	31,10	31,16	31,24	31,33	31,43	31,54
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	31,26	31,26	31,26	31,26	31,42	31,75	31,75	31,75	32,26	32,43
Class	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Target	31,67	31,81	31,96	32,12	32,30	32,49	32,69	32,90	33,13	33,36
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	32,43	32,96	32,96	33,32	33,69	34,07	34,26	34,65	35,25	35,46
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	33,61	33,87	34,14	34,42	34,71	35,01	35,32	35,64	35,96	36,30
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	35,25	35,67	36,10	37,44	39,14	43,37	68,13	106,06	241,68	187,41
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	36,65	35,67	36,10	37,44	39,14	43,37	68,13	106,06	241,68	187,41
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	200,248	193,614	304,842	289,693	275,983	232,075	252,126	361,594	304,842	263,514
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	200,25	193,61	304,84	289,69	275,98	232,07	252,13	361,59	304,84	263,51

Apenas os valores a verde são os valores reais esperados.

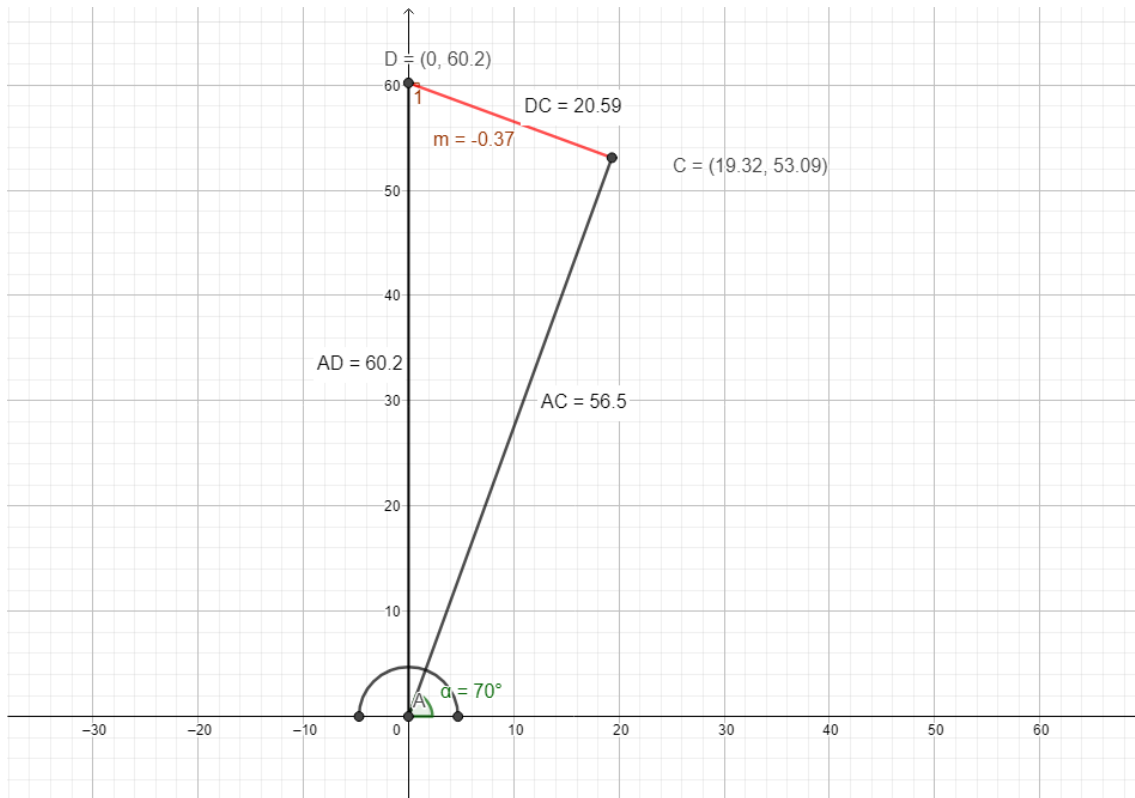


Figura B.4 – Cenário 4 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Tabela B.4 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 4.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	149,189	112,129	275,983	157,197	444,388	263,514	263,514	252,126	187,408	-1177,4
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	149,189	112,129	275,983	157,197	444,388	263,514	263,514	252,126	187,408	-1177,4
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	207,355	-214,75	-71,868	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	207,355	-214,75	-71,868	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	-54,054	-54,054	-54,576	-66,8	176,12	385,531	820,595	576,485	176,12	153,088
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-54,054	-54,054	-54,576	-66,8	176,12	385,531	820,595	576,485	176,12	153,088
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	-448,15	1424,05	576,485	80,1172	110,03	92,7023	52,9618	45,3347	51,5885	50,2857
Class	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	-448,15	1424,05	576,485	80,1172	110,03	92,7023	52,9618	45,3347	51,5885	50,2857
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	50,7125	50,7125	51,1467	52,0382	51,5885	51,5885	52,0382	50,2857	50,7125	50,7125
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1
Target	51,76	51,7747	51,8082	51,8604	51,9312	52,0207	52,1288	52,2552	52,4	52,5629
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	51,5885	52,0382	51,5885	52,0382	53,4361	52,9618	53,4361	52,9618	55,4231	55,4231
Class	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Target	52,7439	52,9426	53,1591	53,3929	53,6441	53,9122	54,1972	54,4987	54,8165	55,1504
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	54,9125	55,4231	56,4739	57,5659	61,7496	80,1172	132,348	-276,53	-63,797	-128,42
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	55,5	55,4231	56,4739	57,5659	61,7496	80,1172	132,348	-276,53	-63,797	-128,42
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	-122,91	-148,32	-199,85	412,869	-207,03	-170,29	-199,85	-252,34	820,595	639,924
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-122,91	-148,32	-199,85	412,869	-207,03	-170,29	-199,85	-252,34	820,595	639,924
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	-731,38	-342,06	170,973	1886,8	955,533	-1477,6	5393,03	820,595	252,126	214,986
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-731,38	-342,06	170,973	1886,8	955,533	-1477,6	5393,03	820,595	252,126	214,986
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	166,119	193,614	275,983	200,248	289,693	232,075	289,693	223,203	232,075	361,594
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	166,119	193,614	275,983	200,248	289,693	232,075	289,693	223,203	232,075	361,594
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	232,075	263,514	304,842	304,842	361,594	385,531	304,842	289,693	304,842	232,075
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	232,075	263,514	304,842	304,842	361,594	385,531	304,842	289,693	304,842	232,075

Apenas os valores a verde são os valores reais esperados.

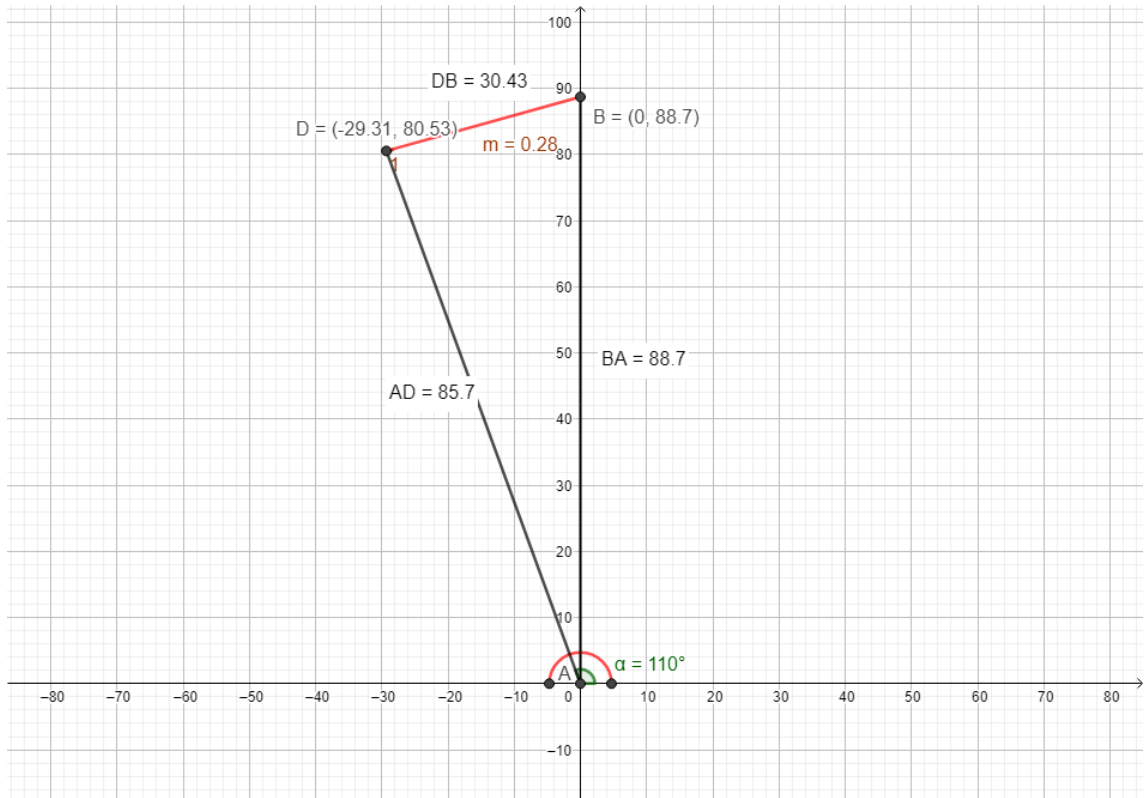


Figura B.5 – Cenário 5 da disposição dos obstáculos no espaço de trabalho.

Tabela B.5 – Valores de distância calculados e esperados assim como a classificação em cada ponto relativo ao cenário 5.

Grau	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Distância	98,9294	176,12	263,514	576,485	955,533	955,533	576,485	263,514	289,693	385,531
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	98,9294	176,12	263,514	576,485	955,533	955,533	576,485	263,514	289,693	385,531
Grau	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Distância	385,531	5393,03	-63,797	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	385,531	5393,03	-63,797	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054	-54,054
Grau	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Distância	-54,054	-54,054	-54,054	-54,576	-66,8	-485,79	955,533	361,594	481,128	1143,64
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-54,054	-54,054	-54,054	-54,576	-66,8	-485,79	955,533	361,594	481,128	1143,64
Grau	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Distância	1886,8	-649,34	385,531	-1177,4	187,408	639,924	275,983	252,126	207,355	76488,2
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	1886,8	-649,34	385,531	-1177,4	187,408	639,924	275,983	252,126	207,355	76488,2
Grau	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Distância	-144,59	-649,34	444,388	232,075	-6276,7	-165,39	-170,29	-122,91	-232,04	-137,66
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	-144,59	-649,34	444,388	232,075	-6276,7	-165,39	-170,29	-122,91	-232,04	-137,66
Grau	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Distância	241,684	123,96	-649,34	639,924	1143,64	157,197	75,9977	81,2186	87,2179	83,5156
Class	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	241,684	123,96	-649,34	639,924	1143,64	157,197	75,9977	81,2186	87,2179	83,5156
Grau	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Distância	87,2179	83,5156	85,9476	87,2179	82,3509	85,9476	83,5156	85,9476	83,5156	83,5156
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Target	84	83,6018	83,2282	82,8794	82,5558	82,2576	81,9851	81,7385	81,5181	81,3241
Grau	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Distância	83,5156	83,5156	82,3509	83,5156	83,5156	82,3509	87,2179	85,9476	87,2179	88,5268
Class	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Target	81,1566	81,0158	80,9018	80,8148	80,7548	80,7218	80,716	80,7373	80,7857	80,8611
Grau	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Distância	95,7139	92,7023	110,03	114,31	444,388	263,514	444,388	444,388	289,693	481,128
Class	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Target	80,9635	92,7023	110,03	114,31	444,388	263,514	444,388	444,388	289,693	481,128
Grau	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Distância	289,693	361,594	639,924	289,693	223,203	176,12	200,248	444,388	289,693	275,983
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	289,693	361,594	639,924	289,693	223,203	176,12	200,248	444,388	289,693	275,983
Grau	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Distância	361,594	223,203	444,388	304,842	412,869	385,531	444,388	361,594	252,126	304,842
Class	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Target	361,594	223,203	444,388	304,842	412,869	385,531	444,388	361,594	252,126	304,842

Apenas os valores a verde são os valores reais esperados.