Universidade de Aveiro Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática
2017 Departamento de Engenharia Mecânica

Vasco Samuel Afonso Gomes

Desenvolvimento de um sistema de visão computacional para drones comerciais

Universidade de Aveiro Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática
2017 Departamento de Engenharia Mecânica

Vasco Samuel Afonso Gomes

Desenvolvimento de um sistema de visão computacional para drones comerciais

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro em cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor António José Ribeiro Neves, docente do Departamento de Eletrónica Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

o júri / the jury

presidente / president	**Professor Doutor Vítor Manuel Ferreira dos Santos** Professor Associado da Universidade de Aveiro
vogais / examiners committee	**Doutora Alina Liliana Trifan** Bolseira de Pós-Doutoramento do Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro (Arguente)
vogais / examiners committee	**Professor Doutor António José Ribeiro Neves** Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

agradecimentos / acknowledgements

Em Primeiro lugar, agradecer aos meus familiares, pais e irmã, pelo apoio e disponibilidade ao longo do meu período académico pois sem eles os objetivos não teriam sido atingidos.
Seguidamente, um agradecimento especial ao orientador, professor António Neves, pela ajuda, apoio e disponibilidade durante a realização desta dissertação.

Palavras Chave

Drones, Visão por computador, deteção de objetos, seguimento visual, OpenCV

Resumo

Drones e visão computacional são duas realidades muito atuais, através das quais é possível obter todo um conjunto de informação e experiências. Conjugar estas tecnologias permite-nos perceber e interagir com o mundo, possibilitando inclusive atuar em situações de risco como os fogos florestais, na procura de pessoas em locais de difícil acesso, ou na monitorização de processos de produção como a agricultura de precisão.

Esta dissertação tem como objetivo o desenvolvimento e integração de um sistema de visão computacional num drone comercial capaz de identificar e seguir um determinado objeto de interesse colorido. Para atingir este objetivo, o trabalho dividiu-se em duas fases. A primeira consistiu no desenvolvimento de algoritmos para a calibração do sistema de visão com vista à obtenção da cor do objeto de interesse a seguir, para que, à posteriori, seja possível distingui-lo numa imagem com outros elementos. A segunda consistiu no desenvolvimento do sistema de seguimento e, consequentemente, a determinação das coordenadas físicas a enviar ao drone para que este seja capaz de seguir de forma autónoma o objeto de interesse.

Com a realização das várias tarefas, foi possível no final obter um protótipo do sistema de visão. Os resultados experimentais obtidos permitem concluir que é vantajoso usar um método de escolha de cor automático e verificar que com o valor de seguimento correto é possível acompanhar o objeto de interesse de acordo com as condições estabelecidas.

Keywords Unmanned Aerial Vehicles, Computer vision, Object detection, visual tracking, OpenCV

Abstract Drones and computer vision are two realities where it is possible to get different information and experiences. These technologies allow us to perceive and interact with the world, acting, for example, in risk situations like forest fires, find missing people in difficult places or monitor production processes like precision agriculture.

This thesis has as main objective to develop and to integrate a computer vision system into a commercial drone with the capability of identify and follow colored objetcs. to achive this goal, it was necessary the development of two main tasks. One of them was the development of calibration algorithms in order to obtain the color of the object to follow. The second one was the development of the tracking system, and, consequently, estimate the coordinates to send to the drone in order to follow the object.

In the end, a prototype of a computer vision system was developed. Taking into consideration the experimental results, the main conclusios are the advantage of using an automatic method select the colour of interest and verify that with the correct value of tracking it is possible to follow objet of interest accordingly to pre defined conditions.

Conteudo

Conteudo i

Lista de Figuras iii

Lista de Tabelas v

1 Introducao 1
1.1 Estrutura da Dissertacao 1

2 Estado da Arte 3
2.1 Floresta 3
2.2 Monitorizacao de pessoas 6
2.3 Sistemas de *Tracking* 7

3 Sistema de Visao 11
3.1 *Hardware* e Sistema de testes 11
3.2 Calibracao de câmara 13
3.3 Selecao da cor de interesse 16
3.3.1 *Flood II* 16
3.3.2 Selecao Manual (*Slider*) 17
3.3.3 Histograma 17

4 Sistema de *tracking* 19
4.1 Identi cacao dos objetos coloridos e poss veis alvos 19
4.2 *Threshold* de *tracking* 21
4.3 Processo de *Tracking* 24
4.4 Controlo 26

5 Conclusoes e Trabalho futuro 29
5.1 Trabalho Futuro 30

6 Anexo A 31
6.0.1 Carater sticas Pi Câmera [11] 31

7 Anexo B 33
7.1 Escolha dos objetos por maior area 33

8 Anexo C 37
8.1 Escolha dos objetos pelo utilizador 37

Bibliogra a 41

Lista de Figuras

1.1 Diagrama funcional do sistema de visao computacional que sera desenvolvido no âmbito desta dissertacao. 2

2.1 Fluxograma do algoritmo proposto em [5]. 4
2.2 *Layout* experimental para monitorizacao e detecao de incêndios baseado em UAVs [5]. 5
2.3 Evolucao do processamento para a primeira parte [5]. 5
2.4 Evolucao do processamento para a segunda parte [5]. 5
2.5 Curva de intensidade de sinal em relacao a profundidade [13]. 6
2.6 Imagem teste para o processo de segmentacao de cor [6]. 7
2.7 Binarizacao pelo modelo HSV [6]. 8
2.8 Teste a aplicacao desenvolvida [6]. 8
2.9 Imagem teste para o processo segmentacao de cor [6]. 9
2.10 Aplicacao do algoritmo SURF [6]. 9

3.1 Raspberry Pi. 12
3.2 Picamara. 12
3.3 Ambiente de testes criado para validacao de resultados. 13
3.4 Modelo pinhole 14
3.5 Processo de calibracao de uma câmara. 15
3.6 Escolha da cor a seguir por processo de *ood II* 17
3.7 Escolha da cor a seguir por processo de selecao manual (*slider*). 18
3.8 Escolha da cor a seguir por analise do Histograma 18

4.1 Espaco de cor HSV 20
4.2 Escolha do objeto com maior area a seguir. 21
4.3 Selecao do objeto alvo pelo utilizador. 21
4.4 Diagrama de calculo do *Threshold* de *tracking*. 22

4.5 Exemplo do processo de analise de regiões. 24
4.6 Exemplo da detecção de dois objetos com a mesma cor 26
4.7 Exemplo do posicionamento do objeto de interesse a seguir. 27

Lista de Tabelas

4.1 Distância entre as posicoes do objeto a seguir (posicao atual e posicao anterior) 26
4.2 Resultado da distância entre o objeto e o centro da imagem. 27

Cap tulo 1

Introducao

Os ve culos aereos nao tripulados (UAVs) ou Drones sao dispositivos capazes de voar sem a necessidade de existir um piloto humano a bordo, sendo poss vel controla-lo remotamente ou simplesmente con gura-los para voarem de forma autonoma [3]. Do ponto de vista da investigacao, este assunto e tema de debate intensivo nos dias de hoje, como se veri ca pelo vasto numero de publicacoes em revistas e conferências da especialidade, como e o caso do evento *IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems* (IEEE ICUAS), entre muitas outras.

Os v deos capturados por estas aeronaves sao cada vez mais comuns nos nossos dias, sendo poss vel obter imagens de locais de dif cil acesso para um ser humano. Todavia, se a estas imagens se aplicar algum processamento atraves de um sistema de visao computacional [4], torna-se viavel a sua utilizacao em aplicacoes concretas, como se comprova pelos diversos projetos e produtos ja existentes no mercado com aplicacoes em areas como a monitorizacao de ve culos [8], agricultura de precisao [17], os fogos orestais [14] ou situacoes de catastrofe [2].

Pretende-se com esta dissertacao desenvolver um sistema de processamento de imagem e incorpora-lo num drone comercial. Este sistema sera desenvolvido com recurso a um microcomputador, que permitira ter um sistema com capacidade de processamento em tempo real. Como prova de conceito, o objetivo consiste em detetar e seguir um determinado objeto colorido. Uma representacao dos principais modulos do sistema a desenvolver pode ser vista na Figura 1.1.

1.1 Estrutura da Dissertacao

Esta dissertacao encontra-se dividida em três cap tulos, para alem desta Introducao e Conclusao no nal.

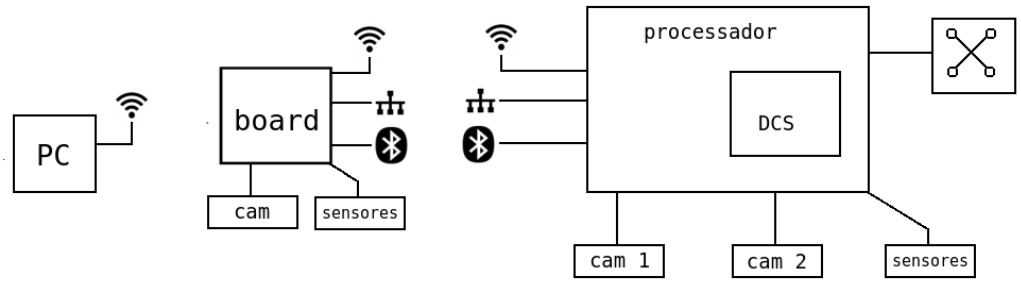


Figura 1.1: Diagrama funcional do sistema de visao computacional que sera desenvolvido no âmbito desta dissertacao.

No Cap tulo 2 e apresentado o estado da arte, ou seja, e descrito o levantamento e estudo realizado acerca do tema abordado neste trabalho. Aqui sao apresentadas algumas aplicacoes e estudos realizados por diversos autores, proporcionando um maior conhecimento sobre poss veis metodos a utilizar no desenrolar do trabalho.

No Cap tulo 3 sao apresentados os equipamentos utilizados durante esta dissertacao, bem como descrito o ambiente criado para a validacao dos resultados. Tambem neste cap tulo e apresentado o processo de calibracao de câmara, necessario a obtencao das coordenadas f sicas do objeto de interesse, bem como do processo de selecao da cor a seguir. Estes processos aparecem descritos neste cap tulo pois sao dois modulos executados independente do modulo principal onde se encontra implementado o algoritmo de *tracking*.

O terceiro e ultimo cap tulo descreve o modulo principal deste sistema, o algoritmo de *tracking*. Nesse sentido, e descrito todo o sistema desde a aquisicao de imagem ate a aplicacao do processo de seguimento, bem como a obtencao das coordenadas f sicas a enviar ao drone.

Cap tulo 2

Estado da Arte

Neste cap tulo pretende-se contextualizar o tema desta dissertacao. O objetivo passa por realizar um levantamento teorico de tecnologias e aplicacoes ja existentes de sistemas de visao computacional que implementem sistemas de *tracking* em Drones.

Para obter todos os dados necessarios para este cap tulo, recorreu-se a um conjunto de artigos com abordagem aos temas de detecao e *tracking* de objetos ou regioes de interesse. Com a variedade de informacao existente e poss vel identi car, pelas diversas propostas e opinioes, um conjunto de etapas que devem ser adotadas com vista ao tema principal desta dissertacao .

Com a globalizacao dos sistemas UAVs foi natural o aparecimento de sistemas uteis para a sociedade. Quando surgiram os primeiros UAVs, o intuito passava por auxiliar as forcas militares [12]. Mas, com o passar do tempo, esta tecnologia globalizou-se passando a estar dispon vel a qualquer pessoa e foram surgindo diversos projetos e produtos comerciais. Neste cap tulo serao ilustrados alguns destes casos.

2.1 Floresta

Em 2016, durante o evento IEEE ICUAS, um conjunto de autores apresentaram no seu trabalho a detecao de fogos orestais com recurso a imagens aereas capturadas por drones [5]. Como e do conhecimento geral, um dos grandes agelos mundiais sao os fogos orestais. Com isto, veri ca-se que os ecossistemas sao constantemente colocados em causa, bem como a seguranca das populacoes, sendo uma mais valia detetar estas ocorrencias e atuar rapidamente.

A maioria dos metodos de detecao de incêndios e feito por pessoas onde a sua seguranca pode ser colocada em causa, para alem do atraso inerente em informar o sucedido. Com isto, um sistema automatico de detecao torna-se uma vantagem, pois nao coloca o ser humano em perigo, tendo ainda a vantagem da comunicacao ser feita de forma mais rapida. Metodos de

detecao usando satelites, equipamentos terrestres ou aereos (UAVs) tornam o combate aos fogos orestais mais e cazes e celeres.

Com o passar do tempo, o uso dos UAVs tornou-se importante nesta area pois com a possibilidade de incluir equipamentos externos permitiu recolher outro tipo de informacoes. O exemplo disso sao as câmaras, com as quais foi poss vel aplicar tecnicas baseadas em visao e assim obter dados, em tempo real, imprescind veis para detetar fogos orestais.

Chi Yuan, Zhixiang Liu e Youmin Zhang propuseram um sistema de detecao de fogos orestais baseado na cor e nas carater sticas do movimento das areas coloridas [5]. Quando potenciadas em conjunto, apresentam um n vel muito elevado de abilidade no que respeita a sua detecao, como se pode comprovar pela Figura 2.1 que representa o uxograma do algoritmo proposto.

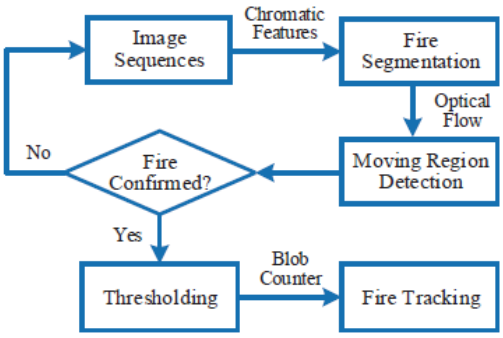


Figura 2.1: Fluxograma do algoritmo proposto em [5].

A analise da cor e uma das tecnicas mais usadas na detecao de poss veis fogos orestais usando os sistemas de visao. Isto porque a cor da chama e conhecida podendo variar entre o vermelho e o amarelo. Perante tal situacao, a detecao do fogo pode ser feita atraves da analise da cor, recorrendo aos espacos de cor RGB ou HSV. No entanto, a cor por si so pode nao ser signi cado de que o incêndio se encontra ativo, pelo que podera ser necessario recorrer a outros tipos de detecao. Neste caso, a proposta passa pela analise de poss veis regioes em movimento. Este metodo pode-se tornar interessante pois quando um fogo orestal esta ativo, este tende em movimentar-se em consequência do vento. Com esta informacao, o processo de detecao torna-se e caz, pois em caso de regioes com cores semelhantes, mas onde uma se encontra estacionaria, esta e descartada. Ainda assim, todos estes dados podem nao ser su ciente, podendo ser necessario formas adicionais [5].

Experimentalmente, os autores deste sistema dividiram-no em duas partes. A primeira, analisando imagens ja existentes, e uma segunda em contexto real. Nesta situacao, utilizaram uma câmara colocada num drone e programaram este para percorrer um percurso pre-de nido

ate encontrar uma situacao real de incêndio. A Figura 2.2 representa o sistema usado para a realizacao do sistema proposto.

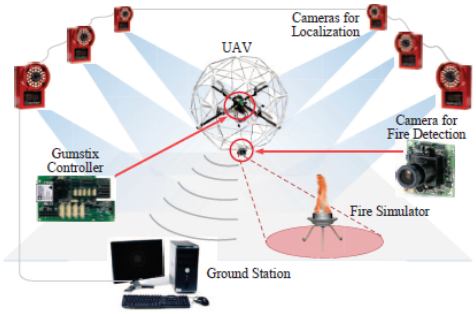


Figura 2.2: *Layout* experimental para monitorizacao e detecao de incêndios baseado em UAVs [5].

Na Figura 2.3 pode-se visualizar os testes realizados com imagens ja existentes. Com este conjunto de tarefas conseguiram comprovar o funcionamento do seu metodo numa primeira fase.

(a) Imagem Original. (b) Detecao da cor. (c) Detecao movimento. (d) Resultado Final.

Figura 2.3: Evolucao do processamento para a primeira parte [5].

A Figura 2.4 valida os testes realizados anteriormente. Se as imagens usadas fossem num contexto real de incêndio, era necessario validar o processo na pratica. Na segunda parte, os testes foram realizados em laboratorio simulando um incêndio e com um drone foi testado o algoritmo elaborado, sendo aprovado o seu funcionamento.

(a) Imagem Original. (b) Detecao da cor. (c) Detecao movimento. (d) Resultado Final.

Figura 2.4: Evolucao do processamento para a segunda parte [5].

2.2 Monitorizacao de pessoas

A di culdade de conhecer a localizacao de poss veis sobreviventes soterrados em catastrofes e enorme. Concretamente, no caso das avalanches, existe a possibilidade de os encontrar nos minutos seguintes ao acontecimento. Em suma, a rapida assistência pode salvar vidas sendo para isso necessario uma forma e caz de detecao das vitimas.

Com o intuito de melhorar a forma e metodo de atuar na procura de pessoas desaparecidas em avalanches, um conjunto de investigadores procuraram encontrar uma solucao viavel e e caz. Com isto, apresentaram um projeto que visa a procura de pessoas em avalanches com recurso a tecnologia *Fourth Generation (4G) Long Term Evolution (LTE)* [13], sendo aplicado o sistema num drone.

A primeira fase realizada pelos autores de [13] foi testar o tipo de sinal 4G LTE recebido por um equipamento soterrado e nao soterrado na neve, com o intuito de comparar os dois casos. Com este estudo foi poss vel perceber o comportamento do equipamento sem que um meio f sico o ative. Conclu ram que era necessario desenvolver uma aplicacao que zesse o processo de transmissao de uma forma automatica. A aplicacao têm como objetivo reunir um conjunto de dados do 4G LTE que serao enviados para os dispositivos acima descritos. Com os dados trocados, intensidade de sinal, e poss vel determinar as distâncias e consequentemente a localizacao exata dos equipamentos.

Na Figura 2.5 e poss vel veri car a curva carater stica da intensidade de sinal em relacao a profundidade do equipamento transportado por uma vitima de avalanche.

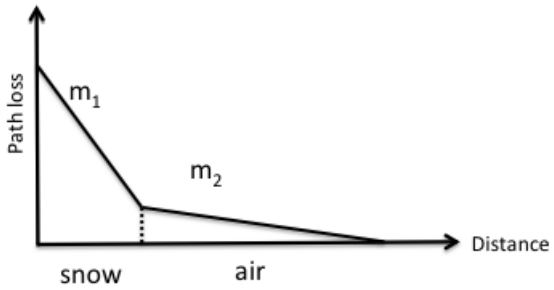


Figura 2.5: Curva de intensidade de sinal em relacao a profundidade [13].

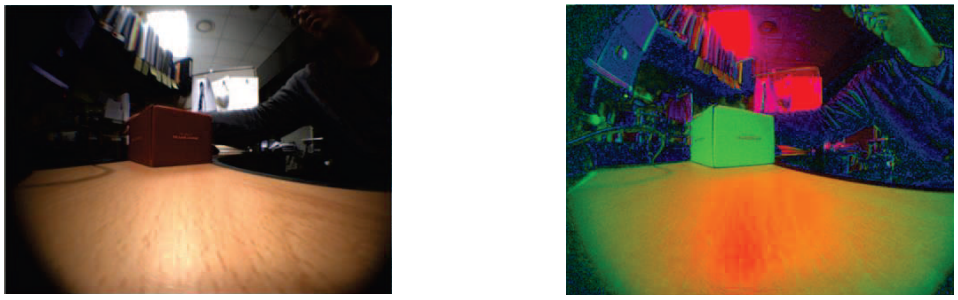
No entanto, o estudo realizado por estes autores nao foi aprofundado o su ciente em relacao a informacao existente. Ou seja, a investigacao realizada sobre este tema e escassa sendo por isso de salientar que este trabalho permitiu perceber que existe a possibilidade de salvar vitimas de avalanches de forma e ciente e e caz, utilizando os sistemas de analise de sinais provenientes dos proprios dispositivos eletronicos.

2.3 Sistemas de *Tracking*

Os sistemas de *tracking* e detecao podem ser aplicados em diversas situacoes. Quando associado aos UAVs permitem obter sistemas robustos, capazes de realizar tarefas difceis ao ser humano em tempo real.

Um exemplo deste tipo de sistemas e a aterragem de drones em veculos em movimento [7]. De um modo geral, o que os autores deste trabalho sugerem e detetar o veiculo atraves de um marcador colorido. Posteriormente, para aterrar o equipamento, com os dados adquiridos pelo sistema *tracking*, aplicam sistemas de controlo por forma a garantir a aterragem.

De forma a conseguir uma aterragem do UAV num veiculo em andamento, optaram por colocar um objeto colorido no veculo em causa. Com este, o metodo de detecao tornar-se-ia mais simples pois aplicando um processo de segmentacao de cor a imagem adquirida, o alvo sobressai sobre os restantes objetos no ambiente. Para alcancar uma segmentacao mais eficaz, recorrem a representacao de cor no espaco HSV, pois com esta e possvel obter intervalos de dados (tonalidade ou saturacao da cor) capazes de atuarem em qualquer ambiente. Na Figura 2.6 e possvel verificar a imagem e a sua representacao em HSV utilizada pelos autores, na obtencao do algoritmo de segmentacao.



(a) Imagem RGB. (b) Imagem HSV.

Figura 2.6: Imagem teste para o processo de segmentacao de cor [6].

Com a representacao da imagem no espaco HSV, obtêm-se a regiao de interesse, sendo que neste exemplo, usam o vermelho. Para tal, aplicaram uma binarizacao onde os parâmetros usados sao valores extremos do modelo HSV para a cor em causa. Usaram ainda um conjunto de processos de filtragem com vista a obter o objeto sem ruido, como se pode verificar atraves da Figura 2.7, onde do lado esquerdo e possvel ver a binarizacao pelo intervalos de valores HSV e na direita o processo de filtragem da mesma.

Com o processo de segmentacao concluido, iniciaram o algoritmo de controlo a aterragem da aeronave. Todo este processo e determinado com recurso a um conjunto de formulas, usando os dados obtidos com a segmentacao de imagem. Em suma, a primeira etapa passa por determinar o erro posicional com base nas coordenadas cartesianas permitindo, ao usar

Figura 2.7: Binarizacao pelo modelo HSV [6].

as posicoes x e y da imagem, representar a posicao nal. Finalmente, e necessario determinar a trajetoria de aterragem e, para este parâmetro, o momento do alvo in uência, pois em caso deste estar estatico, o amortecimento depende unicamente da velocidade do alvo, enquanto que em caso de movimento, a velocidade reduz o amortecimento. Alem disso foi necessario obter mais alguns dados de controlo como orientacao e outras variaveis importantes a conclusao do trabalho.

Com tudo isto, surgiu um sistema de aterragem de UAVs em ve culos em movimento como se comprova com o teste realizado pelos autores e apresentado na Figura 2.8.

Figura 2.8: Teste a aplicacao desenvolvida [6].

O outro exemplo de *tracking* esta relacionado com os pequenos UAVs. Com o desenvolvimento destas aeronaves, nomeadamente no que se refere a reducao de custo e melhoria da capacidade de manuseamento, estes equipamentos tornaram-se bastante populares gerando algumas preocupacoes [1]. Desde logo a privacidade com a potencial captura de imagens sem autorizacao previa. Para tentar minimizar a situacao, surgiu uma proposta de solucao que consiste na detecao e seguimento destes equipamentos. Existem varios metodos capazes de o fazer como:

a) *Audio Detection*

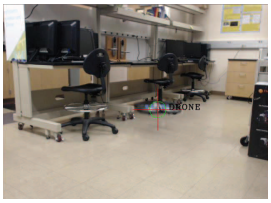
b) *Video Detection*

c) *Thermal Detection*

d) *RADAR Detection*

e) *Radio Frequency Detection*

Esta proposta recorre ao mesmo metodo da anterior [7]. O processamento de imagem e feito com recurso ao modelo de cor HSV. Depois da aquisicao de imagem, esta e convertida para HSV e obtida a mascara para o objeto pretendido (Figura 2.9b). Com esta mascara o utilizador conhece um conjunto de dados sobre o objeto, entre eles, as suas coordenadas na imagem, sendo poss vel veri car na Figura 2.9a as mesmas alocadas na imagem original e ainda o deslocamento do drone, onde a diferenca entre *frames* permite veri car o seu rasto (Figura 2.9c).



(a) Imagem RGB em processo de *tracking*.

(b) Mascara do UAV com base no metodo HSV.

(c) Diferenca entre *frames* apos determinar a mascara.

Figura 2.9: Imagem teste para o processo segmentacao de cor [6].

Alem de todo o processo referido, os autores tambem recorrem a algoritmos avancados para reconhecimento de objetos como o SURF. Este e usado para detetar e separar os drones dos restantes objetos. Em concreto, se for detetado movimento, o algoritmo e aplicado nessa zona para identi car o objeto, sendo que a distância do mesmo pode in uenciar a precisao do processo de seguimento. Na Figura 2.10 pode-se veri car a aplicacao deste algoritmo na identi cacao do objeto em causa - drones.

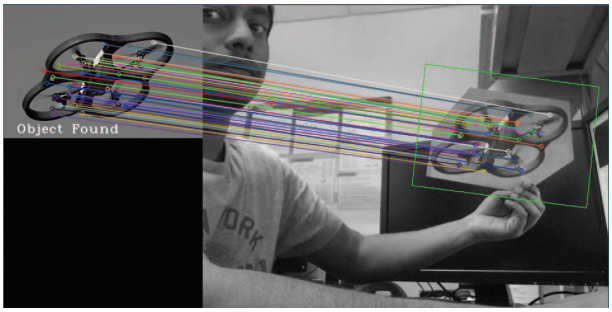


Figura 2.10: Aplicacao do algoritmo SURF [6].

Cap tulo 3

Sistema de Visao

Este cap tulo tem como objetivo dar a conhecer o ambiente usado para testar e obter os dados necessarios ao desenvolvimento desta dissertacao. Alem disso, serve tambem para apresentar alguns modulos independentes do modulo principal onde se encontra implementado o sistema de *tracking*: a calibracao de câmara, necessaria para a obtencao da posicao f sica do objeto de interesse, e ainda a selecao, por parte do utilizador, da cor do objeto que pretende seguir.

3.1 *Hardware* e Sistema de testes

Como referido anteriormente, o objetivo deste trabalho passa pelo desenvolvimento de um sistema de visao computacional que implemente um sistema *tracking* e que permita ser incorporado num drone comercial. Para que seja poss vel a sua inclusao num drone comercial, normalemente plataformas fechadas, e necessario desenvolve-lo num periferico independente deste. Assim permite tambem a sua utilizacao em qualquer tipo de equipamento.

Para desenvolver todo o *software* necessario a execucao desta dissertacao, utilizou-se um micro-computador, mais precisamente um Raspberry Pi (Figura 3.1). Este equipamento apresenta a vantagem de ser pequeno e leve por forma a ser suportado pelo drone. Outra vantagem e ser poss vel implementar os algoritmos necessarios em linguagens de programacao de alto n vel, como por exemplo em python.

Outro equipamento utilizado foi uma câmara digital: a PiCamara (Figura 3.2), cujas suas carater sticas podem ser visualizadas no Anexo 6. Como o objetivo do presente trabalho refere, pretende-se detetar e seguir um determinado objeto de interesse atraves de um drone e imagem digital, da a importância deste componente.

Ao utilizar um drone como equipamento seguidor e como a maioria destes apresentam câmaras incorporadas, poderia-se ter usado a deste equipamento. No entanto, isso nao se

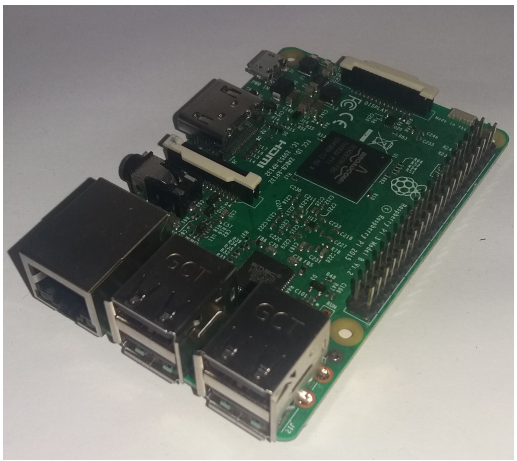


Figura 3.1: Raspberry Pi.

veri cou pois como se pretendia processamento em tempo real nao e compat vel tal uso. Esta incompatibilidade deve-se ao facto de serem equipamento separados, drone e microcomputador, o que implica uma troca de informacao, por wi ou outro metodo, e consequentemente um tempo para tal troca. Ao utilizar uma câmara ligada diretamente ao Rapsberry Pi minimiza-se tal fator, tornando o sistema mais proximo do real.

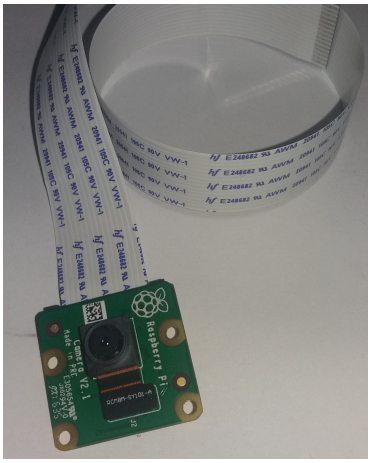


Figura 3.2: Picamara.

Para testar os algoritmos desenvolvidos foi simulada uma plataforma para o efeito. Esta têm como intuito a validacao dos resultados com vista a posterior implementacao do sistema no drone.

Ao gerar tal plataforma, teve-se em conta a aplicacao nal do sistema. Como prova de conceito sera o seguimento objetos coloridos, supoe-se que estes estejam num ambiente externo com luz natural e todas as condicionantes envolventes, como a mudanca de luz num dia de sol, entre outras.

Deste modo, foi colocada uma câmara a uma determinada altura, no caso cerca de 2m, para simular a altitude do drone. Salientar que a mesma, para efeitos de teste, foi colocada num local estatico. No que respeita ao meio envolvente, os testes sao realizados em meio externo, com luz natural. Os objetos de simulacao apresentam duas cores e dois formatos com diversas dimensoes. Isto permite validar a primeira parte do trabalho, que visa a selecao a cor de interesse seguir e, tambem, o processo de *tracking*. Na Figura 3.3 pode-se veri car o ambiente criado para validar os resultados.

Figura 3.3: Ambiente de testes criado para validacao de resultados.

e referir que todos os dados e validacoes obtidas neste documento tem como base de testes a plataforma abordada nesta seccao.

3.2 Calibracao de câmara

A calibracao de câmaras e um processo essencial para a conversao de coordenadas, ou seja, obter coordenadas f sicas com base na posicao numa imagem [9]. Este e um processo

que envolve a caraterizacao da câmara por parâmetros intr nsecos e extr nsecos. O primeiro relaciona as propriedades geometricas da câmara enquanto que o segundo relaciona a sua posicao com um dado referencial.

Os parâmetros intr nsecos relacionam coordenadas numa imagem com base no referencial da câmara. Um exemplo utilizado na descricao da geometria da imagem e o modelo *pinhole*, Figura 3.4, que consiste na formacao da imagem tendo em conta um pequeno orif cio onde apenas o atravessa um raio de luz por cada ponto da imagem.

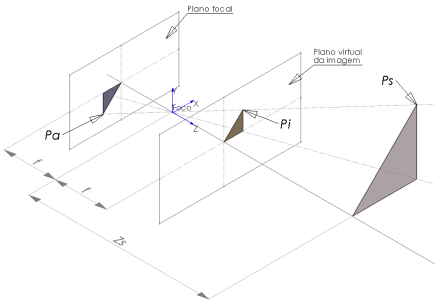


Figura 3.4: Modelo pinhole

Tendo em conta todas as condicionantes inerentes as câmaras digitais e poss vel obter um conjunto de Equacoes, 3.1 e 3.2, da qual e poss vel obter a relacao de coordenadas da imagem em relacao ao mundo f sico.

$$K = \begin{bmatrix} x & 0 & x_0 \\ 0 & y & y_0 \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

$$Z_s \begin{bmatrix} X_{pix} \\ Y_{pix} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

A obtencao dos parâmetros intr nsecos e realizada com recurso a um conjunto de imagens padrao. Estas imagens devem ter geometria conhecida como a base de xadrez.

A calibracao da câmara utilizada nesta dissertacao e realizada com recurso a um algoritmo ja existente da biblioteca OpenCV, *cv::calibrateCamera*, onde foram usadas diversas imagens padrao capturadas pela mesma, como a da Figura 3.5a.

Apos a execucao do algoritmo e poss vel obter a matriz intr nseca da câmara utilizada, expressao 3.3, bem como outros parâmetros tais como o coe ciente de distorcao. Este ultimo e aplicado nas imagens pois as lentes, quando recebem a luz para formar a imagem no sensor, introduzem alguma distorcao sendo necessario aplicar parâmetros para corrigir a localizacao dos pontos. Estes dados têm como base o ambiente de testes e equipamentos abordados na