

Inspeção Técnica de Construções com Recurso a Drones Casos de Estudo

(Versão final após defesa)

João Pedro Nascimento Dinis Miraldes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha
Coorientador: Mestre Eng. Jorge Gabriel Furtado Falorca

dezembro de 2020

Agradecimentos

Esta dissertação representa o final de um caminho que consegui percorrer apenas porque tive o apoio de várias pessoas, que apesar de todas as dificuldades nunca me deixaram baixar os braços e sempre me orientaram pelo caminho correto a seguir. A essas pessoas quero expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar ao meu orientador, Professor João Carlos Gonçalves Lanzinha, pelo conhecimento transmitido ao longo dos meus anos de faculdade, por todo o apoio e motivação e acima de tudo pelo encorajamento para finalizar este trabalho.

Ao meu coorientador, Mestre Engenheiro Jorge Falorca, pelo apoio quer na parte prática deste trabalho quer nos ensinamentos e conselhos transmitidos.

A todos os docentes que marcaram o meu percurso académico por todo o conhecimento transmitido.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, por todo o apoio facultado nos bons e maus momentos e por fazerem parte desta jornada.

À minha avó, mãe e irmão, por se fazerem sentir sempre presentes e serem as bases da pessoa que sou hoje.

À Renata, por toda a força e apoio incondicional que me transmitiu. Por estar presente nos bons e maus momentos e pela paciência no decorrer deste meu percurso.

E por fim um agradecimento especial ao meu pai, que me viu iniciar esta etapa e que com certeza ficaria extremamente orgulhoso de me ver terminá-la. A ele quero deixar as minhas últimas palavras. Que vejas o meu sucesso através dos meus olhos e que te sintas orgulhoso em me ver tornar o que sempre quiseste que eu fosse, pois por ti o serei.

Resumo

Manter o bom estado de conservação das construções em geral é um interesse tanto económico como social, pois garante a qualidade de vida e segurança dos seus utilizadores evitando também prejuízos a quem gere a construção.

Por forma a manter um bom nível de conservação é necessário ter uma metodologia de inspeção bem definida e o primeiro passo geralmente é a inspeção visual, sendo esta uma das etapas principais no processo de reparação ou reabilitação de uma construção. Quando executada de forma cuidada e completa pode fornecer um panorama geral do estado de conservação da construção e indicar a real necessidade de intervenção.

Para que as inspeções visuais sejam realmente úteis, estas devem ser efetuadas com frequência e garantir a inspeção de toda a envolvente da construção, o que em certos casos se torna um problema devido à complexidade da mesma. Geralmente, em construções de difícil acesso como pontes e edifícios altos, os meios utilizados para inspecionar os diversos elementos da construção são dispendiosos e acarretam um risco elevado para quem a eles recorre. Como tal, as inspeções que deveriam ser efetuadas com frequência acabam por ser colocadas de parte devido a serem economicamente inviáveis.

De maneira a colmatar estas condicionantes, cada vez mais entidades têm recorrido a drones para realizar os trabalhos de inspeção. Estes aparelhos são capazes de se posicionar em zonas de difícil acesso sem risco para quem inspeciona e quando comparados com métodos tradicionais, mostram ter um custo de utilização extremamente inferior. No entanto, a forma como estes aparelhos têm sido utilizados nas inspeções de construções não tem sido alvo de controlo, muitas vezes sendo utilizados sem que exista uma preparação prévia do voo e sem conhecimento dos regulamentos e leis existentes.

No âmbito deste trabalho de dissertação, foram analisados os principais parâmetros associados às inspeções de construções com drones com o intuito de perceber como estes podem influenciar os dados obtidos a quando da inspeção. Por forma a controlar estes parâmetros e uniformizar a qualidade dos dados obtidos, elaborou-se uma proposta de guião prático que visa auxiliar com maior rigor o operador do aparelho e o técnico que irá realizar a inspeção desde a definição do voo até ao registo dos dados observados.

Palavras-chave

Inspeção de construções; Drones; Reabilitação; Manutenção; Guião Prático

Abstract

Maintaining a good state of conservation of constructions in general is an economic and social interest, as it guarantees the quality of life and the safety of users, also avoiding losses to those who manage the construction.

In order to maintain a good level of conservation it is necessary to have a well-defined inspection methodology. The first step is usually the visual inspection, which is one of the main steps in the process of repair or rehabilitation of a construction. When carried out carefully and completely, it can provide an overview of the state of conservation of the construction and indicate the real need for intervention.

To make visual inspections really useful, they must be carried out frequently and ensure the full inspection of the construction envelope, which in some cases becomes a problem because of the complexity of the construction. Generally, in constructions that are difficult to access, such as bridges and tall buildings, the means used to inspect the various elements of the construction are expensive and carry high risk for those who use them. As such, the inspections that should be carried out frequently end up being set aside because they are economically unviable.

In order to overcome these constraints, more and more organisations have used drones to carry out inspection works. These devices are able to position themselves in areas of difficult access without risk for inspectors and when compared to traditional methods, show an extremely lower cost of use. However, the way these devices have been used in construction inspections has not been subject to control, often being used without prior flight preparation and without knowledge of the existing regulations and laws.

Within the scope of this master's dissertation work, the main parameters associated with construction inspections with drones were analysed in order to understand how these can influence the data collected during inspections. In order to control these parameters and standardize the quality of the data obtained, a practical guide was developed with the purpose of guiding the operator of the device and the technician who will carry out the inspection from the definition of the flight until the registration of the observed data.

Keywords

Construction inspection; Drones; Rehabilitation; Maintenance; Practical Guide

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento Geral	1
1.2 Breve Revisão Bibliográfica	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura do Trabalho	5
2. Inspeção técnica de construções	7
2.1 Enquadramento	7
2.2 Fatores de degradação de construções	7
2.3 Metodologias de avaliação e inspeção de construções	10
2.4 Técnicas e métodos de inspeção	13
2.5 Notas finais	37
3. Inspeção visual com recurso a drones	39
3.1 Enquadramento histórico	39
3.2 Tipos de drones	41
3.3 Campos de aplicação	45
3.4 Drones na inspeção visual de construções	47
3.5 Condicionantes e recomendações de utilização	57
3.6 Notas finais	59
4. Guião prático para inspeção visual com recurso a drones	61
4.1 Motivação	61
4.2 Legislação e regulamentação aplicável	62
4.3 Estrutura do guião prático proposto	65
4.4 Notas finais	82
5. Aplicação do guião proposto a casos práticos	83
5.1 Enquadramento	83
5.2 Casos de estudo	83
5.3 Aplicação do guião aos casos de estudo	87
5.4 Notas finais	113
6. Avaliação económica da aplicação de drones na inspeção visual	115
6.1 Comparação de custos de inspeção tradicional e inspeção com drone	115
6.2 Resultados obtidos	122
6.4 Notas finais	123
7. Conclusão e trabalhos futuros	125
7.1 Principais conclusões	125
7.2 Proposta de trabalhos futuros	127

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Representação do tipo de corrosão: a) Corrosão generalizada, b) Corrosão Pontual, c) Corrosão intersticial, d) Corrosão galvânica – geralmente junto a soldaduras.	21
Figura 2.2 – Representação do efeito de encurvadura em elementos metálicos sujeitos a esforço axial	21
Figura 2.3 – Causas comuns de deterioração no betão armado, adaptado a partir de [22].	24
Figura 2.4 – Processo de avaliação, inspeção e intervenção em pontes de betão armado (adaptado a partir de [26]).	27
Figura 2.4 – Pontes em viga	33
Figura 2.5 – Pontes em arco	33
Figura 2.6 – Pontes suspensas	33
Figura 2.7 – Exemplo de como o processo de erosão pode causar a exposição da fundação.	36
Figura 3.1 – Principais componentes de um drone, (baseado em [45]).	42
Figura 3.2 – Espectro de drones, desde UAV até SD [47].	43
Figura 3.3 – Diferentes tipos de drones [47].	43
Figura 3.4 – Investimento (em Milhões de dólares) no sector global de drones entre 2012 e 2017 [48].	45
Figura 3.5 – Principais áreas sobre as quais foram escritos artigos sobre drones entre 2013 e 2017 [50]	47
Figura 3.6 – Valor previsto das aplicações de drones a nível mundial por atividade, em 2016 [48]	48
Figura 3.7 – Métodos convencionais de inspeção: Veículos especiais (a), Cordas (b) [51].	48
Figura 3.8 – Fluxo de trabalho para a inspeção com drone (adaptado a partir de [51]).	50
Figura 3.9 – Diferentes parâmetros a ter em consideração ao efetuar uma inspeção com drone (adaptado a partir de [53]).	52
Figura 3.10 – Representação do GSD (<i>Ground Sample Distance</i>)	53
Figura 3.11 – Representação da definição de distância focal [57].	55
Figura 3.12 – Representação da taxa de sobreposição horizontal e vertical.	56
Figura 4.1 – Visão global do estado de implementação de regulamentação nos diversos países em 2016 (adaptado a partir de [58]).	64
Figura 4.2 – Estruturação do guião prático para inspeção visual com recurso a drones.	66
Figura 4.3 – Guião prático - Dados iniciais sobre o técnico responsável, operador e entidade requerente	67
Figura 4.4 – Guião prático - Informação fornecida sobre a regulamentação aplicável.	67
Figura 4.5 – Guião prático - Informação fornecida sobre as condições meteorológicas.	68
Figura 4.6 – Guião prático - Informação fornecida sobre a seleção do aparelho	68
Figura 4.7 – Guião prático - Solicitação do tipo de construção a inspecionar	69
Figura 4.8 – Guião prático - Informação sobre o edifício.	70
Figura 4.9 – Guião prático – Informação sobre as fachadas.	70
Figura 4.10 – Guião prático - Informação sobre a cobertura.	71
Figura 4.11 – Guião prático - Informação inicial sobre a ponte.	72
Figura 4.12 – Guião prático – Informações sobre o tabuleiro.	72
Figura 4.13 - Guião prático – Informações sobre os pilares.	73
Figura 4.14 – Guião prático - Informação sobre outros tipos de construções	74
Figura 4.15 – Guião prático - Características do aparelho.	75
Figura 4.16 – Guião prático - Características da câmara.	75
Figura 4.17 – Guião prático - Parâmetros do plano de voo.	76
Figura 4.18 – Exemplo de representação da linha de voo.	77
Figura 4.19 – Guião prático - Registo de pontos de controlo	78
Figura 4.20 – Guião prático - Inserção da linha de voo conforme exemplo apresentado.	78

Figura 4.21 – Guião prático - Exemplo de representação da linha de voo fornecido no guião prático.	79
Figura 4.22 – Guião prático – Verificação pré-voo.	80
Figura 4.23 – Guião prático – Registo pós-voo	81
Figura 4.24 – Guião Prático – Processamento dos dados recolhidos e registo de anomalias.	81
Figura 5.1 – Ponte sobre a ribeira da Carpinteira (Covilhã).	84
Figura 5.2 – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria.	85
Figura 5.3 – Edifício de Santo António (Covilhã).	86
Figura 5.4 – Chaminé em betão armado do polo principal da Universidade da Beira Interior	86
Figura 5.5 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre a construção.	87
Figura 5.6 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre o tabuleiro.	87
Figura 5.6 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre os pilares.	88
Figura 5.7 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre o aparelho.	88
Figura 5.8 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre a câmara.	89
Figura 5.9 – Ponte da Carpinteira - registo da parte superior do tabuleiro da ponte.	89
Figura 5.10 – Ponte da Carpinteira - registo da lateral voltada a poente da ponte.	90
Figura 5.11 – Ponte da Carpinteira - registo dos pilares centrais da ponte.	90
Figura 5.12 – Ponte da Carpinteira - registo dos pilares circulares em betão.	91
Figura 5.13 – Ponte da Carpinteira – zona inferior do tabuleiro da ponte.	92
Figura 5.14 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Parâmetros do plano de voo.	92
Figura 5.15 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Pontos de controlo.	93
Figura 5.16 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 1.	93
Figura 5.17 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 2.	94
Figura 5.18 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 3.	94
Figura 5.19 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Verificação pré-voo.	95
Figura 5.20 – Ponte da carpinteira - Realização da inspeção.	95
Figura 5.21 – Guião prático - Ponte da Carpinteira – Registo pós-voo.	96
Figura 5.22 – Guião prático – Ponte da carpinteira – registo da anomalia 1.	96
Figura 5.23 - Guião prático – Ponte da carpinteira – registo da anomalia 2.	96
Figura 5.24 – Guião prático – Ponte da carpinteira – registo de anomalia 3.	97
Figura 5.25 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Informação geral sobre a ponte.	97
Figura 5.26 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Informação sobre o tabuleiro.	98
Figura 5.27 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Informação sobre os pilares.	98
Figura 5.28– Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Pontos de controlo.	99
Figura 5.29 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Linha de voo 1.	99
Figura 5.30 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Linha de voo 2.	100
Figura 5.31 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Verificações pré voo.	100
Figura 5.32 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Registo pós voo.	101
Figura 5.33 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 1.	101
Figura 5.34 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 2.	102
Figura 5.35 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 3.	102
Figura 5.36 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação inicial.	103
Figura 5.37 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação sobre as fachadas.	103
Figura 5.38 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação sobre a cobertura.	104
Figura 5.39 – Guião prático – Edifício de Santo António – Parâmetros do plano de voo (cobertura).	104
Figura 5.40 – Guião prático – Edifício de Santo António – Pontos de controlo.	105
Figura 5.41 – Guião prático – Edifício de Santo António – Linha de voo 1.	105
Figura 5.42 – Guião prático – Edifício de Santo António – Linha de voo 2.	106

Figura 5.43 – Guião prático – Edifício de Santo António – Verificações pré-voo.	106
Figura 5.44 – Guião prático – Edifício de Santo António – Registo pós voo.	107
Figura 5.45 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 1	107
Figura 5.46 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 2.	108
Figura 5.47 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 3.	108
Figura 5.48 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 4.	108
Figura 5.49 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 5.	109
Figura 5.50 – Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Informação inicial	110
Figura 5.52 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Linha de voo.	111
Figura 5.53 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Verificação pré voo.	111
Figura 5.54 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Registo pós voo.	112
Figura 5.55 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Anomalia 1.	112
Figura 5.56 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Anomalia 2.	113
Figura 6.1 – Software utilizado para a estimação de preços	116
Figura 6.2 – Diferença de custo entre a inspeção visual tradicional e com recurso a drone	122

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Causas de surgimento de patologias consoante a fase da construção.	9
Tabela 2.2 - Fatores naturais ou ambientais [6]	9
Tabela 2.3 – Lista de projetos de investigação de inspeção de pontes financiado pelo programa europeu <i>Horizonte 2020</i> (adaptado a partir de [11]).	12
Tabela 2.4 – Conjunto de técnicas de inspeção [12, 16, 18].	14
Tabela 2.5 – Aparência de fissuras mais comuns nos elementos de betão armado	25
Tabela 2.6 – Princípios e métodos de reparação do betão segundo a EN 1504 - 9	28
Tabela 2.7 – Exigências a cumprir pelos diversos elementos da envolvente (adaptado a partir de [8]).	30
Tabela 2.8 – Anomalias mais correntes nos elementos constituintes da envolvente dos edifícios [8, 20, 28-30].	31
Tabela 2.8 – Anomalias mais recorrentes em tabuleiros de pontes [13].	34
Tabela 3.1 – Principais componentes e características de um drone (adaptado a partir de [37]).	41
Tabela 3.2 – Classificação dos diferentes tipos de drones com base nas principais características (adaptado a partir de [37]).	44
Tabela 3.3 – Principais campos de aplicação dos drones [37, 39, 41–44].	46
Tabela 3.4 – Algumas vantagens do uso de drones na inspeção visual (Adaptado a partir de [37]).	49
Tabela 3.5 – Procedimentos para efetuar inspeção visual com drones [37].	51
Tabela 3.6 – Condicionantes de utilização de drones em inspeções visuais (Adaptado a partir de [37]).	58
Tabela 3.7 – Tipos de operação com drone (adaptado a partir de [50]).	59
Tabela 4.1 – Principais aspetos da regulamentação aplicável em Portugal [37].	62
Tabela 4.2 – Comparação dos principais aspetos regulamentares entre alguns países [54].	65
Tabela 6.1 – Custo da inspeção visual tradicional aos pilares centrais da ponte sobre a ribeira da carpinteira.	117
Tabela 6.2 – Fator de risco a ter em consideração no custo de utilização com base na complexidade do aparelho e no risco associado à linha de voo.	119
Tabela 6.3 – Custo por hora de aluguer de drone e operador tendo em conta a complexidade do equipamento.	119
Tabela 6.4 – Custo do aluguer de drone e respetivo operador por dia de trabalho.	120
Tabela 6.5 – Custo da inspeção visual tradicional às fachadas da edifício de Santo António.	120
Tabela 6.6 – Custo do aluguer de drone e respetivo operador por dia de trabalho.	122

Lista de Acrónimos

IP	Infraestruturas de Portugal
NRAU	Novo Regime de Arrendamento Urbano
MAEC	Método de Avaliação do Estado de Conservação
MEXREB	Metodologia de Diagnóstico Exigencial de Apoio à Reabilitação
RSB	Regulamento de Segurança de Barragens
SGOA	Sistema de Gestão de Obras de Arte
EP	Estradas de Portugal
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
NBIS	<i>National Bridge Inspection Standards</i>
FHA	<i>Federal Highway Administration</i>
BRIM	<i>Bridge Inspectors Reference Manual</i>
EPIQR	<i>Environmental Quality and Retrofit</i>
TRIMIS	<i>Transport Research and Innovation Monitoring and Information System</i>
BIM	<i>Building Information Model</i>
PTA	<i>Pilotless Target Aircraft</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HALE	<i>High Altitude Long Endurance</i>
MALE	<i>Medium Altitude Long Endurance</i>
UAV	<i>Unmanned Air Vehicle</i>
MUAV	<i>Mini UAV</i>
MAV	<i>Micro UAV</i>
NAV	<i>Nano Air Vehicle</i>
SD	<i>Smart Dust</i>
PAV	<i>Pico Air Vehicle</i>
DOE	Distância ao Objeto de Estudo
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
CF	<i>Crop Factor</i>
VLOS	<i>Visual Line Of Sight</i>
BVLOS	<i>Beyond Visual Line of Sight</i>
EVLOS	<i>Extended Visual Line of Sight</i>
ANAC	Autoridade Nacional de Aviação Civil

Capítulo 1

1. Introdução

1.1 Enquadramento Geral

Todas as construções, desde pontes e barragens a simples edifícios habitacionais ou comerciais, têm um propósito em comum, que é servir os seus utilizadores e desempenharem em segurança as funções para o qual foram projetadas. É, portanto, importante garantir um bom estado de conservação e garantir o correto funcionamento das mesmas, especialmente no caso de construções que, embora tenham já uma idade avançada, continuam a desempenhar funções fundamentais, quer na vida das pessoas que as utilizam quer no panorama económico dos países e cidades onde estas se inserem.

O aparecimento de patologias pode estar associado a diversas causas, no entanto é certo que estas, mais cedo ou mais tarde vão surgir e se negligenciadas, podem pôr em causa a segurança da construção e de quem a utiliza. Deste modo, é necessário ter uma atitude preventiva, através da aplicação de metodologias de inspeções periódicas.

A conservação de uma construção depende também do desempenho de cada um dos seus elementos e por isso, os trabalhos de inspeção devem debruçar-se sobre todas as partes da mesma, tendo como objetivo a recolha de informação que permita deduzir o seu estado de conservação, algo que inicialmente é feito através de uma inspeção visual. Esta por si só não é suficiente para dar indicações objetivas ou propor soluções construtivas [1], no entanto é imprescindível para perceber quais os passos a seguir e indicar a necessidade de realizar inspeções mais detalhadas.

Por vezes torna-se difícil, ou até mesmo impraticável, a realização periódica de inspeções visuais detalhadas e que garantam o levantamento completo da envolvente da construção, principalmente em construções cuja dimensão e complexidade não permitem uma análise completa de toda a envolvente devido a existirem zonas de difícil acesso.

Geralmente, por forma a inspecionar tais zonas é necessária a utilização de equipamentos caros e que podem envolver um elevado risco de segurança para quem os utiliza, como no caso de auto-gruas, andaimes ou até mesmo simples cordas. Devido ao risco e custo que estes equipamentos auxiliares apresentam, muitas vezes as inspeções visuais acabam por ser efetuadas apenas quando se verificam anomalias já num estado

avanzado e que podem comprometer o bom funcionamento da construção. Esta deteção tardia traduz-se depois em custos de reparação mais elevados.

Por forma a tornar estas inspeções mais recorrentes e seguras, tem existido um aumento significativo da utilização de drones na inspeção visual. Sendo aparelhos extremamente versáteis, os drones estão capacitados de características e tecnologias que permitem a realização de trabalhos outrora demorados e perigosos, de forma mais expedita e segura, a um custo extremamente inferior quando comparados com os equipamentos tradicionalmente utilizados para auxiliar a inspeção visual.

Embora estes aparelhos apresentem um grande potencial na área das inspeções das construções, não existe ainda um consenso na forma como são utilizados, não sendo por isso também respeitados aspetos importantes que podem influenciar os dados obtidos. Tal deve-se principalmente à inexistência de regras específicas para a utilização desta tecnologia, estando somente ainda disponível informação regulamentar que condiciona a utilização dos mesmos consoante a política de cada país. Devido a esta falta de controlo dos principais fatores que influenciam a inspeção visual, o resultado final acaba por não ser o esperado, culminando por vezes em inspeções com pouco detalhe e de baixa qualidade.

É no sentido de controlar estes fatores, que nesta dissertação se realizou um estudo sobre a forma como os drones podem auxiliar a inspeção visual de construções, analisando que aspetos principais devem ser controlados a quando da inspeção com drones e a forma como estes poderão influenciar os resultados obtidos, no sentido de fornecer um panorama real do estado de conservação da construção.

1.2 Breve Revisão Bibliográfica

A utilização de drones nos diferentes campos da engenharia civil não é novidade e existem diversos estudos sobre como estes podem auxiliar em diferentes tipos de aplicação.

Por exemplo Shahmoradi et al. [2] explica a forma como os drones têm ajudado na indústria mineira através do controlo de rotinas de operação, mapeamento em 3D das zonas de escavação permitindo o cálculo de volumes e áreas, outrora realizados por equipamentos topográficos.

Já Dupont et al. [3], demonstrou uma relação entre o que hoje é praticado no contexto das diferentes fases da vida útil de uma construção e como os drones podem ser uma mais-valia nas necessidades do utilizador em cada uma dessas fases, como no controlo do progresso de uma construção, fiscalização de materiais e equipamentos, controlo das condições de segurança etc. Além disso, concluiu que os drones podem ser uma ferramenta fundamental para trabalhos de reabilitação quando interligados com o BIM, algo que também Sousa [4] concluiu no seu trabalho de dissertação sobre a utilização de BIM como ferramenta de gestão de pontes, no qual o mesmo recorreu a drones para a criação de um modelo digital de uma ponte.

Mais especificamente no contexto da inspeção de construções, Seo et al [5] realizou um protocolo sobre a inspeção visual de pontes com drones deve ser efetuada. Ao aplicar o protocolo a um caso de estudo, o mesmo concluiu que a utilização de drones na inspeção de pontes permite obter imagens de alta qualidade, das quais foi possível identificar anomalias que passariam despercebidas ao olho humano como fissuras de pequena dimensão.

Também Banaszek et al [6], realizou um estudo sobre os possíveis usos de drones na inspeção técnica de construções, concluiu que os drones são, por um lado, uma alternativa económica aos métodos tradicionais de medição e inspeção, por outro lado são uma ferramenta com características fortes no que respeita à capacidade de recolha de dados, permitindo inspecionar zonas de difícil acesso ou de potencial risco para seres humanos.

Por forma a uniformizar o modo como estes aparelhos têm sido utilizados na inspeção de construções, diversos autores têm concebido metodologias para controlar os diferentes aspetos que influenciam o voo dos drones e os dados que estes recolhem. Falorca e Lanzinha [7] referem a importância de separar a inspeção visual com recurso a

drone em duas etapas principais, a preparação prévia da inspeção e a realização da inspeção. Na primeira são reunidas informações sobre a construção a inspecionar, recolhidas as devidas autorizações para a execução do voo e planeada a linha de voo que o drone irá seguir. Já na realização da inspeção são concretizadas listas de verificações antes do voo, por forma a controlar diversos parâmetros como as condições meteorológicas e se o aparelho está em condições de realizar o voo.

1.3 Metodologia

O trabalho de dissertação iniciou-se com a recolha de informação em bibliografia sobre inspeção de construções e os principais aspetos a ter em consideração. Reuniu-se também informação sobre os diferentes tipos de drones e os fatores que influenciam os dados recolhidos através dos mesmos, com especial foco no tipo de registo que será utilizado na inspeção de construções. Grande parte desta informação foi recolhida através do acesso a repositórios online, bibliotecas, bases de dados e sites, principalmente para a recolha de informação sobre o drone utilizado.

Com base nas informações recolhidas e no conhecimento adquirido, elaborou-se uma proposta de guião prático, em formato Excel, que visa auxiliar tanto o operador do drone como o técnico que irá efetuar a inspeção, por forma a controlar e registar todos os aspetos que podem influenciar os resultados obtidos.

Após elaborado a proposta de guião prático, ensaiou-se o mesmo a cinco casos de estudo, devidamente escolhidos por forma a verificar a sua aplicabilidade e utilidade para os diferentes tipos de construção considerados. Para a realização dos casos de estudo foi utilizado um drone *DJI Mavic Pro* [8], realizaram-se as primeiras etapas do guião prático proposto, relativas às entidades envolvidas, à construção em causa e ao plano de voo a realizar. De seguida, a quando do levantamento, efetuou-se uma inspeção inicial da envolvente da construção para perceber a existência de potenciais riscos, fizeram-se os registos necessários antes de voo no guião prático e realizou-se a inspeção propriamente dita. Por fim, analisaram-se os dados obtidos e registaram-se os resultados.

Além das conclusões retiradas sobre o teste de aplicação do guião prático, utilizaram-se ainda dois dos casos de estudo para fazer uma comparação de custos e tentar perceber, de forma aproximada, a vantagem económica da utilização de drones na inspeção visual de construções, relativamente a procedimentos de inspeção normalmente utilizados nestas situações.

1.4 Estrutura Do Trabalho

A presente dissertação está organizada em 7 capítulos. No presente capítulo fez-se uma introdução ao tema, uma breve revisão bibliográfica e foi apresentada a metodologia utilizada para a realização do estudo.

O capítulo 2 aborda a inspeção visual de construções, nas diferentes metodologias de inspeção utilizadas, as diferentes técnicas de inspeção e nas principais anomalias que podem afetar cada tipo de construção.

O capítulo 3 incide sobre a tecnologia dos drones e a sua utilização na inspeção visual de construções. Primeiramente fez-se uma contextualização histórica por forma a perceber as origens destes aparelhos e a forma como se foram adaptando aos diferentes mercados. Também neste capítulo foram estudados os principais fatores ambientais e características do aparelho que influenciam nos resultados obtidos e a forma como estes definem e regem a execução da inspeção.

No capítulo 4 apresenta-se a motivação para a realização deste trabalho, analisam-se os diferentes aspetos regulamentares sobre a utilização de drones, tanto em Portugal como no resto do mundo. De seguida apresenta-se a proposta do guião prático para a utilização de drones na inspeção visual de construções e a forma como este está estruturado.

No capítulo 5 aplica-se o guião prático proposto a cinco casos de estudo selecionados e retiram-se as respetivas conclusões dessa aplicação.

Utilizando dois dos casos estudados anteriormente, no capítulo 6 faz-se uma análise comparativa dos custos associados à inspeção visual com recurso a meios tradicionais e a inspeção visual com recurso a drones.

Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões que se retiram do desenvolvimento do trabalho de dissertação e apontam-se algumas propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

2. Inspeção técnica de construções

2.1 Enquadramento

Em 2018, as obras de reabilitação licenciadas em Portugal cresceram 11,7% face ao ano anterior (-0,1% em 2017), correspondente a 5187 edifícios licenciados para obras de reabilitação em 2018 (4642 em 2017) [9]. Já no que diz respeito aos outros tipos de estruturas, no mesmo ano, as Infraestruturas de Portugal (IP) tinham a seu cargo mais de 7.200 Obras de Arte entre pontes, viadutos, túneis e passagens hidráulicas, ou seja, estruturas que tenham mais de 2 metros de vão, pertencentes à rede rodoviária e à rede ferroviária. Embora segundo a avaliação feita pela Infraestruturas de Portugal (IP) as pontes se apresentem com cerca de 86% nos estados Satisfatório e Bom [10], ainda existe uma necessidade de se realizarem inspeções de forma regular e objetiva.

Segundo o Ministerio dos Transportes de Ontario – Canadá [11] os principais objetivos da inspeção em estruturas no geral são:

- Manter as estruturas em boas condições de segurança e funcionamento;
- Proteger e prolongar o tempo de vida útil das estruturas;
- Identificar e reparar as patologias identificadas na estrutura;
- Providenciar uma base para a gestão e planeamento dos trabalhos de reabilitação;

Sendo que a primeira fase nos trabalhos de reabilitação e manutenção consiste na inspeção da envolvente dos edifícios e de outros tipos de construções, torna-se importante conseguir detetar, diagnosticar e intervir de forma rápida e precisa nas anomalias existentes, não só para garantir o bom estado de conservação da construção, mas também evitar constrangimentos e riscos para a saúde de seus utilizadores.

2.2 Fatores de degradação de construções

No geral, as construções têm como objetivo servir um propósito específico que muitas vezes passa por proteger os utilizadores do meio envolvente. Tendo como exemplo o caso de um edifício multifamiliar, cuja função primária é proporcionar um ambiente fechado e protegido de todas as ameaças exteriores como as condições climáticas. Já uma ponte tem como objetivo primário criar uma ligação através de uma zona onde as morfologias

do terreno não permitem o deslocamento de um ponto “A” a um ponto “B” e geralmente com condições climáticas adversas (entre rios, vales, etc.). Seja qual for o intuito das construções, elas encontram-se expostas a fatores que a degradam ao longo da sua vida útil e que vão condicionando a sua funcionalidade e segurança.

As manifestações patológicas podem ser causadas por fatores que englobam erros de projeto, falhas de execução, ações mecânicas, ambientais, acidentais, falta de manutenção e a alteração das condições inicialmente previstas. Dentre estes, as ações ambientais e erros de projeto e execução podem ser citadas como alguns dos principais fatores de degradação [12].

No entanto nem sempre é possível identificar de forma clara e objetiva uma causa concreta devido, por exemplo, à grande heterogeneidade de materiais presentes numa construção, às diferentes funções de cada componente da construção, à grande variedade de ações externas e complexidade do meio, etc. De tal forma, cada caso deverá ser analisado como único, uma vez que, cada anomalia pode estar associada a vários fatores diferentes que ocorrem em simultâneo ou fatores que se foram acumulando ao longo do tempo e que culminaram numa anomalia final [13].

Assim sendo, os fatores que causam estas manifestações podem ser divididos, quanto à sua origem, como:

- Fatores de origem humana
- Fatores de origem natural ou ambiental

2.2.1 Fatores de origem humana

Entende-se por fatores de origem humana, todos os fatores, controláveis ou acidentais, que são provocados pelo homem. Estes fatores podem ocorrer resumidamente em três fases distintas da obra. Na fase de projeto, que é a fase na qual se idealiza a construção e as suas especialidades, fase de execução, na qual é concretizado o projeto e por fim na fase de utilização, na qual a edificação está em funcionamento e acolhe os seus utilizadores, cumprindo os pressupostos de projeto.

Em cada umas destas fases podem surgir fatores controláveis e acidentais (Tabela 2.1). Entende-se por fator controlável o fator que geralmente é esperado e pode ser evitado. Já os fatores acidentais, como o próprio nome indica, são fatores que não são esperados nem tão pouco podem ser controlados, no entanto podem tomar-se medidas de precaução para diminuir a probabilidade de ocorrência dos mesmos.

Tabela 2.1 - Causas de surgimento de patologias consoante a fase da construção [1].

Fases	Causas
Fase de Projeto	Falta de projeto
	Falta de levantamentos e ensaios adequados
	Falta de coordenação entre as várias especialidades
	Modelos incorretos de dimensionamento
	Quantificação inadequada de ações
	Pormenorização insuficiente
	Seleção inadequada de materiais e métodos construtivos
Fase de Execução	Não conformidade entre execução e projeto
	Falta de mão-de-obra qualificada
	Falta de controlo nos materiais empregues
	Insuficiente fiscalização com especialização adequada
Fase de Utilização	Alterações ao projeto base não previstas
	Degradação dos materiais por uso indevido dos mesmos ou do espaço em si
	Alteração da tipologia do terreno circundante à edificação sem um estudo prévio de impacto
	Falta de monitorização de patologias e deformações
Fatores acidentais	Fogo
	Explosão
	Choque
	Inundação

2.2.2 Fatores de origem natural ou ambiental

Os fatores de origem natural ou ambiental, ou não humanas [14] tratam-se de fatores sempre presentes em todas as fases da construção (Tabela 2.2). Os fatores naturais podem dividir-se em três categorias principais, fatores físicos, químicos e biológicos. Tal como os fatores acidentais nas causas humanas, também dentro dos fatores naturais existem causas acidentais, ou desastres naturais, dos quais não se tem qualquer controlo, sendo que apenas se pode prever as suas consequências e tomar medidas de precaução.

Tabela 2.2 - Fatores naturais ou ambientais [14]

Ações Naturais	Físicas	<i>Variações de temperatura</i>
		Variações de humidade relativa
		Temperaturas extremas
		Vento
		Presença de sais (chuva, neve, humidade do solo)
		Radiação
		Efeitos diferidos
		Alterações do solo de fundação
	Químicas	Oxidação
		Carbonatação
		Presença de sais (chuva, neve, humidade do solo)
		Presença de água
	Biológicas	Reações eletroquímicas
Plantas		
Insetos		
Bolores e Fungos		
Desastres Naturais	Sismo	
	Ciclone	
	Tempestades	
	Deslizamentos (Terra / Avalanche)	
	Incêndios	
	Tsunami	

A determinação da origem das anomalias presentes numa obra é um processo complexo e que requer uma observação cuidadosa e detalhada, sendo que todas as soluções que venham a ser adotadas numa eventual reabilitação têm que conseguir colmatar as patologias existentes, garantindo que os fatores que causam tal anomalia sejam mitigados ou anulados por completo.

2.3 Metodologias de avaliação e inspeção de construções

Todos os tipos de inspeção têm como objetivo principal monitorizar as condições de utilização e segurança das construções durante a sua vida útil e também fornecer dados para avaliar o estado de conservação das mesmas. Existe alguma dificuldade em encontrar um modelo de inspeção universal para todo o tipo de construções devido à falta de uniformização de técnicas construtivas e princípios de manutenção e reabilitação [15], sendo que cada obra é constituída por elementos e materiais diferentes.

É por isso importante que os trabalhos de inspeção decorram de acordo com um conjunto de procedimentos normalizados de maneira a maximizar a utilidade da informação obtida com os recursos hoje em dia disponíveis [16].

Por forma a responder à necessidade de manter os seus parques habitacionais e infraestruturas num estado de conservação aceitável e otimizar os custos de reabilitação, vários países criaram as suas próprias metodologias para a avaliação de edificações e construções no geral, bem como diversos métodos de inspeção para apoiar essas avaliações.

2.3.1 – Metodologias em Portugal

Não existe na legislação portuguesa qualquer método específico para a avaliação de construções com exceção do *Método de Avaliação do Estado de Conservação de Imóveis (MAEC)*, previsto no âmbito do *Novo Regime de Arrendamento Urbano (NRAU)*. Este método foi criado com o objetivo de avaliar o estado de conservação do locado para a atualização do valor das rendas. Ainda sobre edifícios habitacionais, existem em Portugal diversas metodologias propostas, como por exemplo a *Metodologia de Diagnóstico Exigencial de Apoio à Reabilitação (MEXREB)*, desenvolvida em 2006 na Universidade da Beira Interior [1] e que permite, não só a análise comparativa do estado de conservação do edifício, mas também comparar o desempenho dos diversos elementos constituintes da envolvente do mesmo com as exigências de funcionamento para as quais foram projetados.

No respeitante a outras construções pode referir-se o *Regulamento de Segurança de Barragens (RSB)*, que tem como objetivo a segurança de barragens durante as fases de projeto, construção, primeiro enchimento, exploração e abandono. Indo de encontro ao Artigo 46º deste mesmo regulamento, foi criado um conjunto de Normas de Observação e Inspeção de Barragens, que podem ser consultadas na Portaria nº847/93 de 10 de setembro.

No que toca às obras de arte existem alguns métodos desenvolvidos em Portugal ao longo do tempo, não vinculados à legislação Portuguesa, como por exemplo o *Sistema de Gestão de Obras de Arte (SGOA)* da Estradas de Portugal (EP), desenvolvido em 1998, de modo a responder às necessidades dos donos de obra, essencialmente no apoio à gestão, de forma a permitir o conhecimento do estado real de conservação e manutenção de pontes e viadutos, e assim, adotar decisões quanto às intervenções de reabilitação a realizar.

2.3.2 – Metodologias na Europa e no Mundo

À semelhança do que se fez em Portugal, na Europa e em vários países do mundo também podemos encontrar várias legislações e metodologias que têm em vista a avaliação do estado de conservação das construções. Nos Estados Unidos, por exemplo, encontramos o *Standard Guide for Condition Assessments*, criado em 1999 e revisto pela última vez em 2016, correspondente à Norma E2018 da *American Society for Testing and Materials (ASTM)*. Esta norma define um conjunto de boas práticas na avaliação do estado de conservação de um imóvel, assistindo no desenvolvimento de vistorias e investigações. O *Guideline for condition assesement of the building envelope*, desenvolvido pela *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, que tem como objetivo fornecer uma metodologia para avaliar a condição e o desempenho dos sistemas e componentes constituintes da envolvente dos edifícios, fornecendo ao seu utilizador um conjunto de métodos de ensaio e de inspeção que podem ser levadas a cabo para no final gerar um relatório que indique o estado de conservação do edifício [17].

No que diz respeito à avaliação e inspeção de obras de arte nos Estados Unidos, importa referir a *National Bridge Inspection Standards (NBIS)*, um regulamento criado pela *Federal Highway Administration (FHA)*, com vista a estabelecer um conjunto de regras para a inspeção de pontes, da qual faz parte o *Bridge Inspectors Reference Manual (BIRM)*, um manual que abrange programas, procedimentos, e técnicas para inspecionar e avaliar uma variedade de pontes rodoviárias em serviço.

Na Europa, encontramos um vasto número de metodologias de inspeção, como o *Test Habitage* desenvolvido em Espanha pelo *Col.legid'Aperelladores i Arquitects Tècnics de Barcelona* que se aplica na avaliação de habitações multifamiliares ou unifamiliares com mais de 10 anos, ou o *Energy Performance, Indoor, Enviromental Quality and Retrofit (EPIQR)*, ferramenta multimédia desenvolvida no programa de investigação JOULE, apoiado pela Comissão Europeia em 1998, com base em 36 edifícios habitacionais de sete países europeus e que pretende apoiar a tomada de decisão com base em diferentes cenários de reabilitação através da decomposição do edifício em cinquenta elementos construtivos e instalações.

Mais recentemente, em maio de 2019, o *Joint Research Centre, the European Commission's science and knowlege service*, publicou um relatório intitulado de *Research and innovation in bridge maintenance, inspection and monitoring – A European perspective based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS)* [18]. Neste relatório são referidos diversos projetos financiados por programas da União Europeia ao longo dos anos, cujo objetivo seria promover o surgimento de novas metodologias de inspeção e monitorização de obras de arte por toda a Europa. Na tabela 2.3 estão resumidos alguns dos programas mais recentes referidos neste relatório, inseridos no *Horizonte 2020*, programa de pesquisa e inovação criado pela União Europeia que visa financiar novas descobertas e avanços tecnológicos nas mais diversas áreas da ciência.

Tabela 2.3 – Lista de projetos de investigação de inspeção de pontes financiado pelo programa europeu *Horizonte 2020* (adaptado a partir de [18]).

Sigla	Nome do projeto	Duração
Truss	Training in Reducing Uncertainty in Structural Safety	2015/01/01 – 2018/12/31
SmartPatch	Use of a cost effective smart skin sensor system for remote SHM and post event structural damage assessment	2014/07/01 – 2014/12/31
INFRAALERT	Linear infrastructure efficiency improvement by automated learning and optimized predictive maintenance techniques	2015/05/01 – 2018/04/31
SENSKIN	'SENsing SKIN' for Monitoring-Based Maintenance of the Transport Infrastructure	2015/06/01 – 2019/05/31
COBRI	Ultrasound NDE tomograph. Design and construction of a portable 3D ultrasound scanner for non-destructive testing and evaluation (NDT and NDE) of concrete	2015/11/01 – 2017/12/31
LoStPreCon	Long-term structural performance of pre-stressed concrete bridges	2015/11/01 – 2017/10/31
AEROBI	AERial ROBotic System for In-Depth Bridge Inspection by Contact	2015/12/01 – 2018/11/30
FASTSCALE	Fast-Beam - Novel modular repair and newbuilding system for concrete bridges	2016/12/01 – 2017/05/31
SAFE-10-T	Safety of Transport Infrastructure on the TEN-T network	2017/05/01 – 2020/04/30
SERA	Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe	2017/05/01 – 2020/04/30
BridgeScan	Laser Scanning for Automatic Bridge Assessment	2019/01/01 – 2020/12/31

Também por forma a agilizar o processo de computação de dados relativos às inspeções, nos últimos tempos o *Building Information Model (BIM)* tem vindo a mostrar o seu lugar na área da inspeção técnica de construções, podendo ser uma ferramenta útil para a avaliação do estado de degradação das construções ao integrar as condições físicas e ambientais que provocam danos na envolvente da mesma e conjugar estas a um modelo BIM que organiza toda a informação obtida [19]. Também em Portugal a mesma metodologia tem vindo a ser aplicada, havendo já progressos significativos na utilização dos modelos BIM como plataforma de gestão de base de dados de informações recolhidas através de técnicas como o *laser scanning*, a fotografia 360° para a criação de visitas virtuais ou, indo de encontro ao tema deste trabalho, o uso de veículos aéreos não tripulados, que através da fotogrametria podem gerar modelos tridimensionais de construções [4].

As metodologias acima referidas, de forma geral, baseiam-se numa inspeção visual para concluir o estado de conservação da edificação, podendo em situações pontuais, realizar-se ensaios em elementos específicos da edificação ou efetuar inquéritos direcionados aos utilizadores para obter dados que possam ser importantes para a avaliação final. Nos tópicos seguintes irá falar-se sobre algumas das técnicas de inspeção mais utilizadas e algumas metodologias de inspeção.

2.4 Técnicas e métodos de inspeção

2.4.1 Técnicas de inspeção

De modo a obter um diagnóstico sobre o estado de conservação de uma construção é necessário realizar diversos ensaios. Existem diversas técnicas de inspeção que podem ser implementadas, desde as mais simples como a inspeção visual, até às mais complexas que têm que ser tratadas em laboratório [20]. Estas técnicas são usadas principalmente para:

- Detetar elementos ocultos, como pilares, vigas, armaduras, entre outros
- Detecção da degradação superficial da envolvente das construções
- Análise das propriedades dos materiais
- Detecção de vazios e fissuras

Segundo alguns autores [16, 17], os tipos de ensaios de diagnóstico podem categorizar-se em:

- Ensaios não-destrutivos – Não provocam alteração significativa ao material a ensaiar, conseguindo a extração das características do mesmo através dos

princípios básicos de inspeção visual, radiografia, ultrassons, eletromagnetismo e emissão acústica, sendo necessário conhecer a correlação entre o resultado fornecido pelo ensaio e a propriedade do material a ser estimada.

- Ensaio destrutivo - Implicam a alteração física ou química das propriedades do material a ensaiar de modo a conseguir observar ou medir as características do mesmo.

Na tabela 2.4 compilaram-se algumas das técnicas de inspeção mais correntes, organizando-as consoante o seu grau de destruição, o princípio em que se baseiam e o objetivo das mesmas.

Tabela 2.4 – Conjunto de técnicas de inspeção [12, 16, 18].

<i>Nome</i>	<i>Princípio</i>	<i>Grau de destruição</i>	<i>Objetivo</i>
Inspeção Visual Simples	Técnica de percepção sensorial	Não Destrutivo	Avaliar de modo geral as condições da construção e fornecer indicações para uma intervenção mais rigorosa.
Fissurómetro		Não Destrutivo	Medir os movimentos relativos que se verificam em dado ponto de uma fissura
Inspeção Boroscópica		Não destrutivo ou parcialmente destrutivo	Instrumento ótico para inspecionar o interior de locais de difícil acesso
Arrancamento por tração	Técnicas de ação mecânica	Destrutivo ou parcialmente destrutivo	Aplicação de uma força de tração exercida no elemento a testar de modo a quantificar a aderência do revestimento ao seu suporte
Choque de esfera (Martinet Baronnie)		Parcialmente destrutivo	Fornecer informação sobre a resistência ao choque do material de revestimento
Microperfuração		Parcialmente destrutivo	Avaliar a resistência mecânica do material à perfuração
Resistência à compressão		Destrutivo	Medir a resistência à compressão de determinado material
Termografia de infravermelhos	Técnicas de propagação de radiação eletromagnética	Não destrutivo	Identificar elementos ocultos que emitem radiação infravermelha com diferentes intensidades, permitindo identificar pontes térmicas e locais mais propícios ao surgimento de patologias
Radiografia		Não destrutivo	Analisar o estado dos elementos ocultos pelo revestimento como pilares e vigas
Laser scanning		Não destrutivo	Consiste na emissão de impulsos de laser que permitem medir a distância do obstáculo ao emissor, podendo constituir posteriormente uma nuvem de pontos que permite a avaliação de deformações geométricas e fissuras nos elementos testados
Microcovermeter		Não destrutivo	Determinar a profundidade e o diâmetro dos varões em elementos de betão armado
Determinação de sais		Técnicas de reação química	Não destrutivo

Tabela 2.4 – Conjunto de técnicas de inspeção [12, 16, 18] (cont.)

Fitas colorimétricas		Não destrutivo	Determinar o teor dos sais que compõem as eflorescências
Determinação da presença de fungos ou algas		Não destrutivo	Determinar a presença de fungos ou algas através de uma solução de hipoclorito de sódio a 5%
Medição de condutividade	Técnicas elétricas	Não destrutivo	Medir a capacidade que o material tem de conduzir correntes elétricas
Medição da humidade superficial (Humidímetro)		Não destrutivo	Determinar o teor de humidade na superfície dos elementos das construções.
Dec Scanner		Não destrutivo	Detetar humidades em coberturas planas
Condutibilidade térmica	Técnicas higrótérmicas	Destrutivo ou parcialmente destrutivo	Determinar a condutibilidade térmica dos materiais, pode ser feito <i>in situ</i> ou em laboratório
Registo de condições higrótérmicas		Não destrutivo	Medir a temperatura e a humidade relativa do ar no interior das construções

É importante ter noção de que existe um grande conjunto de técnicas para as mais variadas finalidades e que estas devem ser corretamente escolhidas de forma a obter uma avaliação correta. A escolha do ensaio a utilizar depende dos elementos a inspecionar, da acessibilidade à zona de inspeção, do parâmetro que se procura conhecer e da metodologia de inspeção que se pretende seguir.

2.4.2 Metodologias de Inspeção

Devido à grande heterogeneidade de materiais e tipos de construções, é necessário ser rigoroso e objetivo a quando da seleção da metodologia e técnica de inspeção a efetuar, pois uma má inspeção leva a resultados imprecisos e incoerentes, o que resulta numa má avaliação e consequentemente na obtenção de trabalhos de manutenção mais caros que o necessário ou intervenções que acabam por não resolver o problema existente.

Segundo alguns autores [12–14] os tipos de metodologia de inspeção a seguir dependem dos seguintes fatores:

- Grau de urgência de intervenção;
- Nível de rigor da inspeção;
- Periodicidade da inspeção;
- Tipo de Construção a inspecionar;

De modo a perceber o estado de degradação de uma construção, é sempre necessário fazer uma inspeção visual inicial, que como o próprio nome indica, serve para de forma simples e sem recorrer a equipamentos mais caros e complexos, efetuar um

levantamento visual à envolvente da obra, registando o que se observa, de forma qualitativa e sempre apoiada na nossa experiência e capacidade de decisão [15]. Assim é possível indicar ao dono de obra um grau de urgência sobre o qual se deve intervir na construção.

É este grau de urgência que deve conduzir o rigor da inspeção a aplicar. Se uma construção se encontra na fase inicial da sua vida útil e não apresenta anomalias significativas à primeira vista, pode não se justificar a necessidade de uma inspeção extremamente aprofundada.

Há que ter em conta que o rigor da inspeção e a periodicidade com que esta é efetuada acarreta custos mais elevados, quer seja devido ao risco que o inspetor corre ao inspecionar determinada estrutura devido à sua tipologia, isto é, pontes, barragens, edifícios altos ou edifícios debilitados ou em risco de ruína, quer quanto aos tipos de testes e equipamentos usados na mesma. Recorrendo ao exemplo das obras de arte, segundo Sousa [4] existem três tipos de inspeção:

- Inspeção de Rotina – O objetivo principal destas inspeções é avaliar o estado de manutenção das pontes e perceber se existe necessidade de realizar uma inspeção mais exaustiva.
- Inspeção Principal – Consiste em observar e registar as condições de funcionamento, identificam-se as anomalias mais graves e que comprometem o bom desempenho da ponte.
- Inspeção Especial – Surgem geralmente após a realização da inspeção principal e realizam-se sempre que seja necessário identificar e analisar com mais rigor alguma deficiência detetada, nesta fase podem ser realizados alguns ensaios especiais como por exemplo um ensaio de carga ou a medição geométrica de deformações e comportamento dinâmico da ponte.

Já segundo Brito [16], a metodologia de inspeção varia de país para país e também de construção para construção, no entanto é possível referir que todas elas seguem um padrão geral, posto isso, propôs que as inspeções fossem classificadas em três tipos:

- Inspeções correntes;
- Inspeções detalhadas;
- Inspeções de avaliação estrutural;

Foi dada especial atenção a esta última metodologia de inspeção, pois foi considerada para vários tipos de construções, indo assim de encontro ao tema desta dissertação, que pretende focar na inspeção de construções em geral. Assim, de seguida resumem-se os aspetos mais importantes descritos uma destas fases da metodologia proposta por Brito [16].

2.4.2.1 Inspeções correntes

Estas inspeções baseiam-se na inspeção visual. O foco não é encontrar uma anomalia estrutural grave, mas sim realizar um trabalho de manutenção e registar pequenas ocorrências. São recomendadas inspeções de 15 em 15 meses por forma a avaliar a influência das estações do ano no funcionamento da construção.

A inspeção deve ser planeada antecipadamente por forma a retirar proveito das melhores condições possíveis para a deteção de anomalias, por exemplo, escolher o melhor dia e hora por forma a evitar trânsito, aglomerados de pessoas e condições meteorológicas adversas.

O equipamento para este tipo de inspeção deve ser portátil e básico, usando apenas instrumentos que não necessitem de fonte de alimentação exterior e que não acarretem um custo elevado.

Estas inspeções devem permitir detetar as anomalias de rápida evolução e acompanhar o processo evolutivo das detetadas anteriormente.

Uma lista de pontos a analisar deve constar do manual de inspeção e ser particularizada em função das inspeções anteriores e da construção. A quando da elaboração do relatório final de inspeção, deve constar neste o registo das anomalias detetadas com base em fotografias e esquemas estruturais previamente elaborados e a classificação da gravidade das mesmas com base em critérios definidos pelo autor.

2.4.2.2 Inspeções detalhadas

A inspeção detalhada recorre a ensaios *in-situ* de carácter não destrutivo e de fácil execução por forma a investigar todos os detalhes que a quando de uma inspeção corrente possam ser identificados como possíveis causadores de problemas mais graves.

Recomenda-se a realização deste tipo de inspeções a cada cinco anos, substituindo as inspeções correntes que coincidam com este período. No entanto, caso exista a

necessidade de acompanhar a evolução de uma anomalia com mais frequência, esse período pode ser reduzido para um ano. Não obstante, estas inspeções devem também ter em conta o plano de inspeção e manutenção definido em projeto em função da vida útil expectável dos diversos elementos da estrutura.

O planeamento destas inspeções deve incluir um estudo cuidadoso do passado da obra por forma a conhecer as causas e evoluções das anomalias detetadas em inspeções realizadas anteriormente. Para tal devem ser analisados com detalhe as telas finais do projeto, fichas e relatórios de inspeções anteriores e de trabalhos de manutenção ou reparação efetuados. Antes de partir para a inspeção, deve-se preparar uma lista de pontos a investigar, esquemas de referência dos elementos principais da construção e a ficha da última inspeção realizada.

Para este tipo de inspeções deve-se utilizar o mesmo material utilizado nas inspeções correntes e equipamentos para a realização de ensaios *in-situ* como células galvânicas, magnetómetros, ultrassons, extrator de carotes, defletómetros, etc. É importante inspecionar todos os elementos da construção, pelo que pode ser necessário a utilização de meios de acesso auxiliares como andaimes fixos ou deslizantes, equipamentos de mergulho, veículos de inspeção com gaiola basculante, etc.

No final da inspeção deverá realizar-se um relatório final à semelhança do ponto anterior, no entanto, no relatório de uma inspeção detalhada deverá constar os resultados dos ensaios efetuados. De acordo com os resultados obtidos, o caminho a seguir após a inspeção pode ser um dos seguintes:

- Organização de uma inspeção de avaliação estrutural ou realização de medições complementares;
- Elaboração de uma lista de anomalias particulares que devem ser seguidas com especial atenção nas próximas inspeções;
- Organização de trabalhos de manutenção necessários;
- Estabelecimento de um plano de manutenção a médio prazo;

2.4.2.3 Inspeções de avaliação estrutural

Geralmente realiza-se uma avaliação estrutural quando se deteta uma anomalia estrutural ou funcional grave durante uma das inspeções mencionadas anteriormente, caso se esteja a colocar a hipótese de alterar a categoria de utilização da estrutura ou caso se queira avaliar o comportamento global da construção após um evento fora do vulgar

(utilização indevida da construção, ocorrência de desastres naturais ou de origem humana, etc.) e por isso não existe um período determinado para esta ser efetuada.

Desta inspeção esperam-se obter os seguintes resultados:

- Caracterização das anomalias estruturais;
- Estimação da vida útil residual da construção;
- Estimação da capacidade resistente atual;

Os meios utilizados dependem do elevado número de anomalias que podem levar à avaliação estrutural, sendo por isso difícil identificar-se um conjunto específico de testes a realizar, podendo-se ter que utilizar todos os testes referidos anteriormente por forma a avaliar corretamente a condição atual da estrutura. No entanto há sempre que salvaguardar os custos associados à inspeção.

Uma vez que a avaliação estrutural é a inspeção que carece de mais rigor, também o planeamento da mesma deve ser efetuado com o mesmo nível de cuidado, pois estas inspeções requerem testes de custo elevado e muitas vezes o corte parcial de uma área considerável da construção, que quando aliado a um tempo de execução elevado, podem gerar custos extremamente elevados.

O equipamento necessário para uma avaliação estrutural pode ser de difícil e demorado manuseamento e bastante oneroso, existindo uma grande variedade de equipamento recomendado, pelo que não é possível listar equipamentos específicos.

Os ensaios de carga estáticos ou dinâmicos são uma ferramenta inestimável, sobretudo em pontes. Devem, no entanto, ser utilizados com bastante critério pois, para além de serem muito caros, obrigam à interrupção total do tráfego / ocupação normal por períodos indeterminados.

Em termos de relatório final, uma vez que uma avaliação estrutural é uma inspeção de carácter muito específico, é difícil redigir tópicos que sejam gerais a todas as situações, sendo por isso importante ter em conta que devem ser apresentados todos os resultados dos ensaios efetuados, bem como eventuais cálculos estruturais que possam ter sido feitos por forma a avaliar a condição atual da estrutura. Por fim deve-se apresentar um conjunto de medidas a tomar e dar indicações para se promover, ou não, trabalhos de reabilitação estrutural.

2.4.3 Inspeção de estruturas metálicas

Como na maior parte das construções em geral, o surgimento de patologias deve-se maioritariamente a erros de projeto, falta de controlo da qualidade do material, deficiente execução em obra e utilização indevida da estrutura. Nas estruturas metálicas, não é diferente, no entanto estes tipos de construções têm algumas particularidades que as tornam, de certo modo, mais sensíveis a estes erros.

A maior parte das estruturas metálicas utilizadas no setor da construção são expostas às condições atmosféricas [21] e no que diz respeito a este tipo de estruturas, o maior inconveniente de utilização das mesmas é a sua instabilidade química quando expostas a estas condições, uma vez que são muito propícias a processos de corrosão [26]. Os principais tipos de defeitos em estruturas metálicas, segundo alguns autores [16, 19–21], são:

- Corrosão
- Encurvadura e Fadiga
- Problemas nas ligações

2.4.3.1 Corrosão

A corrosão é um processo químico no qual um metal ou liga metálica, se transforma num ião metálico pela interação química ou eletroquímica com o meio ambiente [28]. Os efeitos da corrosão dependem do tempo de permanência de contato da superfície metálica com o agente corrosivo, que geralmente na área da construção se trata da água. A presença de poluentes pode piorar os efeitos da corrosão através da alteração da composição química do líquido em contacto com o metal [21]. A corrosão pode surgir em elementos expostos à atmosfera ou em elementos em contacto com o solo, nunca surgindo em ambientes secos ou quando a temperatura é baixa o suficiente para congelar a substância em contacto com o metal. Segundo Lopes [28] os tipos mais comuns de corrosão são:

- Corrosão uniforme – Forma de corrosão que se processam em toda a extensão da superfície metálica, ocorrendo uma perda uniforme de espessura e consequentemente perda de resistência do elemento.
- Corrosão pontual – Forma de corrosão pontual, geralmente ocorre devido à permanência por largos períodos de tempo de uma substância corrosiva em contacto com o metal.

- Corrosão intersticial – Forma de corrosão que ocorre devido à existência de fendas no interior do elemento metálico, nas quais se concentram pequenos volumes de substâncias que acabam por se tornar corrosivas.
- Corrosão galvânica – Ocorre devido ao contacto de dois metais com diferente potencial de redução, criando assim uma diferença de potencial que gera uma maior tendência à corrosão, este processo ocorre na maior parte dos casos em zonas de soldadura.

A figura 2.1 apresentada em baixo representa uma possível aparência da cada um dos tipos de corrosão descritos acima.

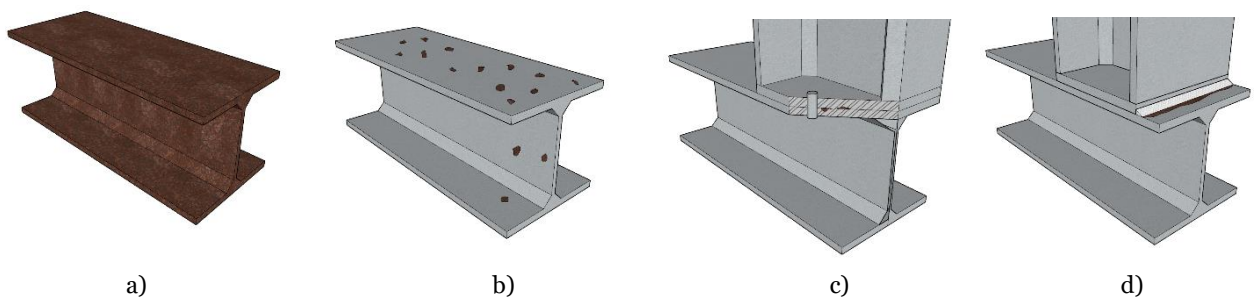


Figura 2.1 – Representação do tipo de corrosão: a) Corrosão generalizada, b) Corrosão Pontual, c) Corrosão intersticial, d) Corrosão galvânica – geralmente junto a soldaduras.

2.4.3.2 Encurvadura e fadiga

Segundo a NP EN 1993-1-1: 2010, encurvadura é um fenómeno de instabilidade que se caracteriza pela ocorrência de grandes deformações transversais em elementos sujeitos a esforços de compressão axial (Figura 2.2). Em estruturas metálicas este fenómeno assume uma particular relevância devido ao facto de serem utilizados elementos relativamente esbeltos neste tipo de construções.

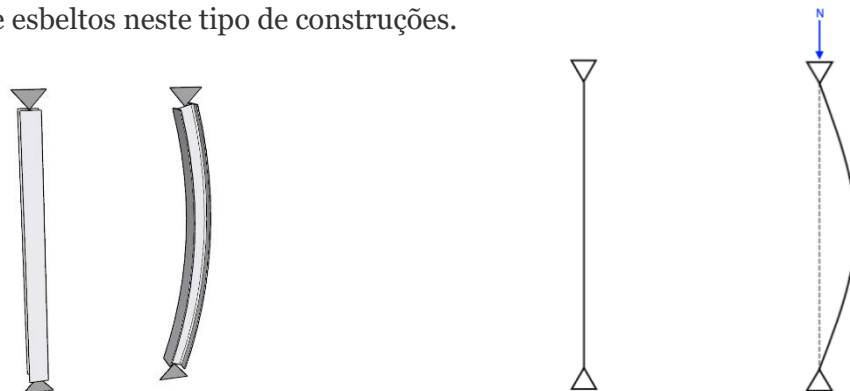


Figura 2.2 – Representação do efeito de encurvadura em elementos metálicos sujeitos a esforço axial

A fadiga, também segundo a NP EN 1993-1-1: 2010, entende-se como o processo de propagação de fendas num elemento estrutural provocado por flutuações de tensão. Este processo ocorre nomeadamente em três fases:

- Início da fendilhação – Surgimento de microfissuras no material
- Propagação da fendilhação – Fase em que as fendas se propagam devido a carregamentos cíclicos
- Crescimento rápido da fenda – Fase na qual se atinge a rotura de forma abrupta devido à incapacidade da mesma de resistir aos esforços aplicados

2.4.3.3 Problemas nas ligações

Nas estruturas metálicas, geralmente, não existe continuidade na junção de diferentes elementos, sendo necessário recorrer a ligações específicas entre eles, podendo estas ser soldadas ou aparafusadas. Cria-se assim um ponto crítico na estrutura metálica que devido a erros de projeto ou de fabrico pode conduzir a zonas de fragilidade que podem comprometer a estabilidade da estrutura.

2.4.3.4 Metodologias de Inspeção e reparação

Os planos de inspeção de construções metálicas, devem centrar-se na existência de:

- Inspeções de rotina, nas quais se efetua uma inspeção visual de modo a detetar anomalias como as referidas anteriormente e também proceder a trabalhos de limpeza e manutenção geral.
- Inspeções principais, nas quais se deve observar todos os elementos estruturais na sua totalidade e proceder a testes localizados em zonas críticas como ligações e zonas mais fragilizadas.
- Inspeções especiais, que devem ocorrer sempre que seja detetado um dano relevante que possa comprometer a estrutura, nesta fase devem executar-se ensaios não destrutivos de modo a perceber a gravidade e origem da patologia para de seguida proceder à sua reparação [26].

Alguns dos métodos não destrutivos mais utilizados na inspeção de estruturas metálicas são:

- Magnetoscopia – Permite identificar fissuras à superfície do elemento; verificar furos antes da aplicação de parafusos pré-esforçados
- Radiográfico – Identificação de fissuras à superfície e internamente
- Ultrassons – Detetar descontinuidades e a sua localização em profundidade
- Emissão acústica – Identificar deformações no material e fissuras em elementos sobrepostos.

Nas estruturas metálicas, tal como em todos os outros tipos de construções, deve ser-se rigoroso no controlo de qualidade e na inspeção das mesmas. Após a identificação das patologias deve-se proceder à reparação das mesmas e consoante o tipo de construção e a finalidade da mesma, existem diversas formas de repara ou reforçar a estrutura como por exemplo:

- Proteção da superfície metálica através de pinturas anticorrosivas ou intumescentes;
- Redução de vibrações da estrutura para evitar os efeitos de fadiga da mesma
- Substituição de ligações
- Reforço de elementos através da aplicação de chapas de reforço ou elementos de contraventamento.

2.4.4 Inspeção de estruturas de betão armado

No passado, tinha-se a ideia de que as estruturas de betão armado eram imunes à degradação, mesmo quando executadas sem nenhum cuidado particular. Hoje em dia sabemos que a ação do ambiente nas estruturas de betão armado pode determinar um dano progressivo na estrutura, tanto no próprio betão como nas suas armaduras. Este dano pode ser do tipo físico, químico, biológico ou mecânico [21]. Tal classificação vai também de encontro à proposta na norma NP EN 1504-9: 2009, a qual classifica o tipo de dano como podendo ser mecânico, químico, físico ou devido ao fogo [29].

O conhecimento atual das causas de anomalias, que comprometem o bom desempenho das estruturas, traça um vasto número de fenómenos por vezes complexos e de atuações simultâneas [30]. O tipo de anomalias que se podem verificar no betão armado podem ter diversas origens, como apresentado na figura 2.3.

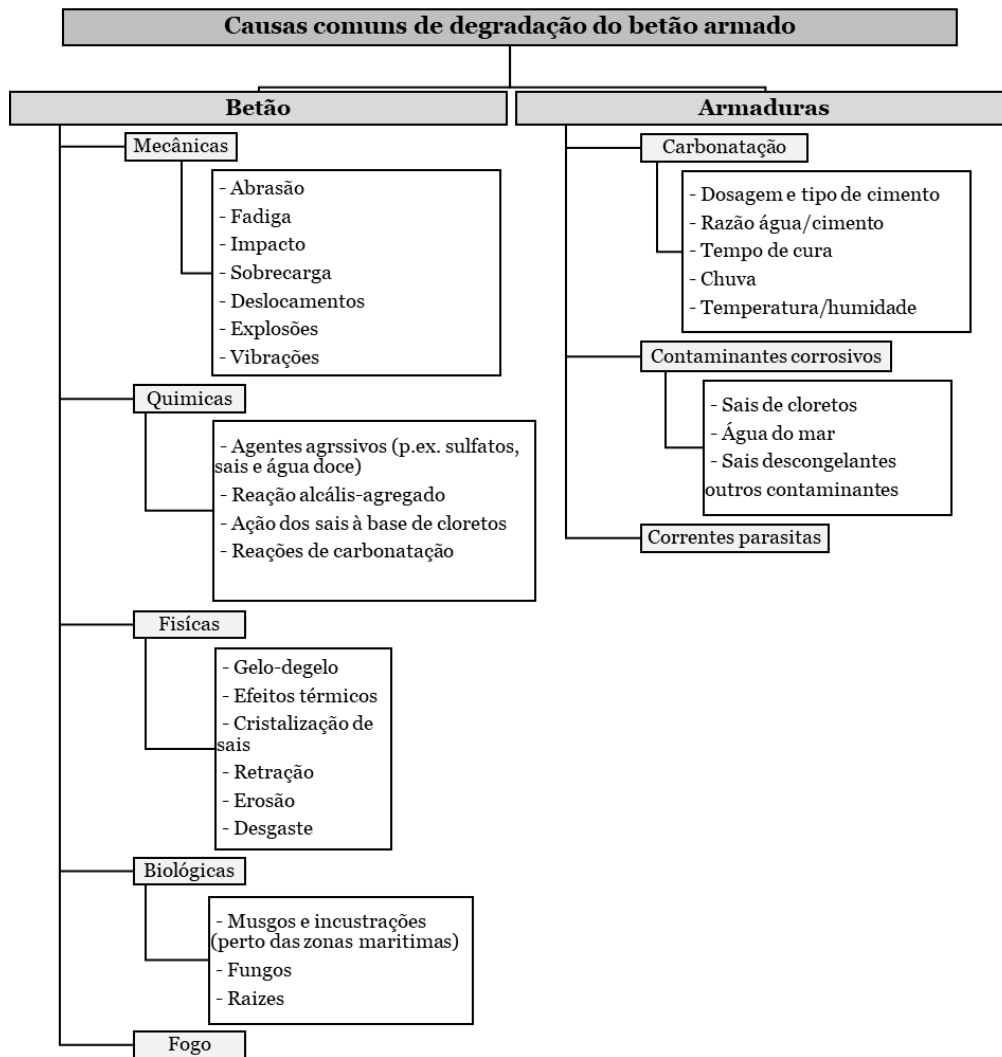


Figura 2.3 – Causas comuns de deterioração no betão armado, adaptado a partir de [22].

É por isso importante, a quando de uma inspeção visual preliminar, saber reconhecer que tipos de ações podem estar a causar determinada anomalia. As anomalias mais comuns verificadas no betão são:

- Fissuração
- Destacamento
- Degradação
- Esmagamento
- Desgaste
- Deformações
- Imperfeições

A fissuração pode ocorrer devido a diversos fatores, podendo surgir devido a solicitações não previstas em projeto, assentamentos, retração e variações de temperatura.

Dependendo da origem da fissuração, o seu aspeto difere, sendo possível identificar numa fase inicial qual o fator que lhe deu origem. Na tabela 2.5 esquematizam-se as formas mais correntes de como se podem manifestar as fissuras consoante o fator que lhes deu origem e as possíveis causas de tal ocorrência.

Tabela 2.5 – Aparência de fissuras mais comuns nos elementos de betão armado

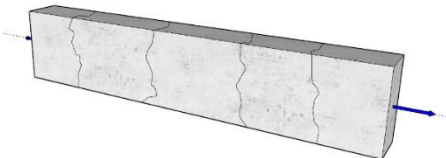
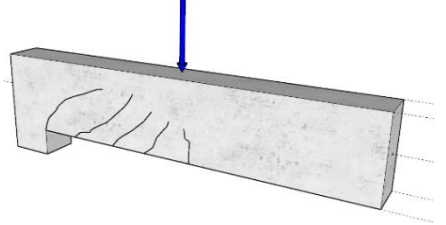
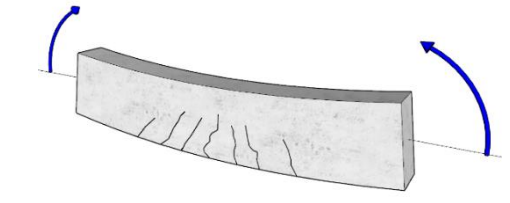
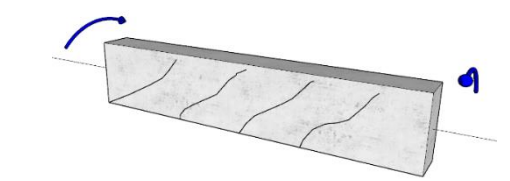
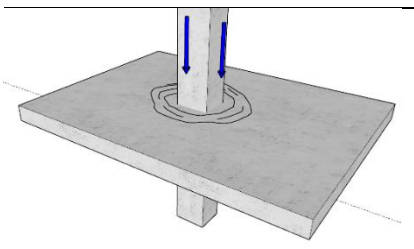
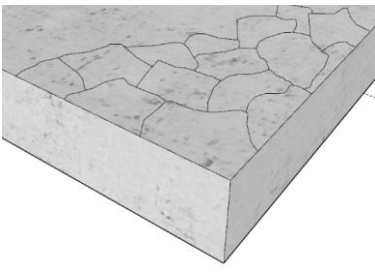
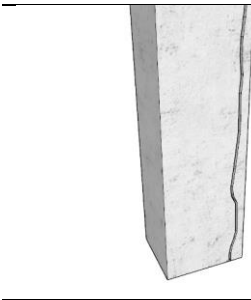
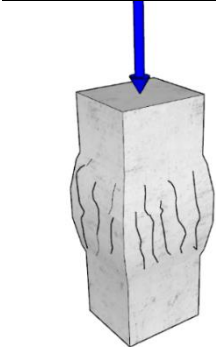
<i>Aparência da fissura</i>	<i>Fator de origem</i>	<i>Possíveis causas</i>
	Forças de tração	<ul style="list-style-type: none"> • Assentamento de fundações • Armadura longitudinal insuficiente • Comprimento de amarração insuficiente • Redistribuição dos esforços da estrutura
	Esforço transversal	<ul style="list-style-type: none"> • Seção mal dimensionada • Sobrecarga excessiva • Betão de má qualidade • Armadura transversal insuficiente • Má execução do elemento
	Esforço de flexão	<ul style="list-style-type: none"> • Seção mal dimensionada • Vão demasiado grande entre apoios sem seção suficiente • Sobrecarga excessiva • Comprimento de amarração insuficiente • Descofragem antes do tempo de cura
	Esforços de torção	<ul style="list-style-type: none"> • Incorreta conceção do projeto • Seção mal dimensionada • Redistribuição de cargas • Má execução do elemento • Armadura transversal e longitudinal insuficiente
	Punção	<ul style="list-style-type: none"> • Laje com pouca espessura • Armadura de punção insuficiente ou inexistente • Betão de má qualidade

Tabela 2.5 – Aparência de fissuras mais comuns nos elementos de betão armado (cont.)

	<p>Retração</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Variações de temperatura</i> • <i>Recobrimento excessivo</i> • <i>Falta de juntas de dilatação</i> • <i>Maior exposição do betão</i> • <i>Excesso de água</i> • <i>Tempo de cura insuficiente</i> • <i>Falta de rega do betão durante a cura</i>
	<p>Destacamento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sismos • Explosões • Impactos • Sobrecarga excessiva • Descofragem prematura • Erros de projeto • Expansões no interior do betão
	<p>Forças de compressão</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descofragem prematura • Armadura insuficiente • Sobrecarga excessiva • Seção mal dimensionada • Redistribuição de esforços

Os métodos utilizados mais recentemente tendem a ser cada vez mais automatizados, recorrendo a novas tecnologias como, por exemplo, a deteção automática de fendas na superfície do betão através de processamento de imagens [31].

2.4.4.1 – Metodologias de inspeção e reparação

Segundo a norma NP EN 1504-9: 2009, a metodologia de avaliação do estado de conservação de uma estrutura de betão armado deve incluir, mas não limitar-se, aos seguintes aspetos [29]:

- Avaliação visual da envolvente da estrutura existente
- Testes para determinar o estado do betão e das armaduras
- A abordagem inicial ao projeto
- O ambiente envolvente, incluindo a exposição a contaminações
- O histórico da exposição da estrutura de betão, incluindo a exposição ambiental
- As condições de utilização
- Condições para uso futuro

Por exemplo, segundo Bagge [32], para a inspeção de pontes de betão armado, a necessidade de realizar uma avaliação está geralmente associada a dúvidas que surgem da requalificação, deterioração ou da reconstrução da mesma. Numa fase inicial, a metodologia de avaliação e inspeção a seguir é semelhante às metodologias tradicionais. No entanto, se a avaliação inicial da estrutura não demonstrar que esta é capaz de cumprir os requisitos de utilização, uma serie de medidas devem ser tidas em consideração, podendo estas ser agrupadas em avaliações mais detalhadas, requalificação, intensificação da inspeção e monitorização, reparação ou reforço da estrutura, demolição ou substituição da estrutura.

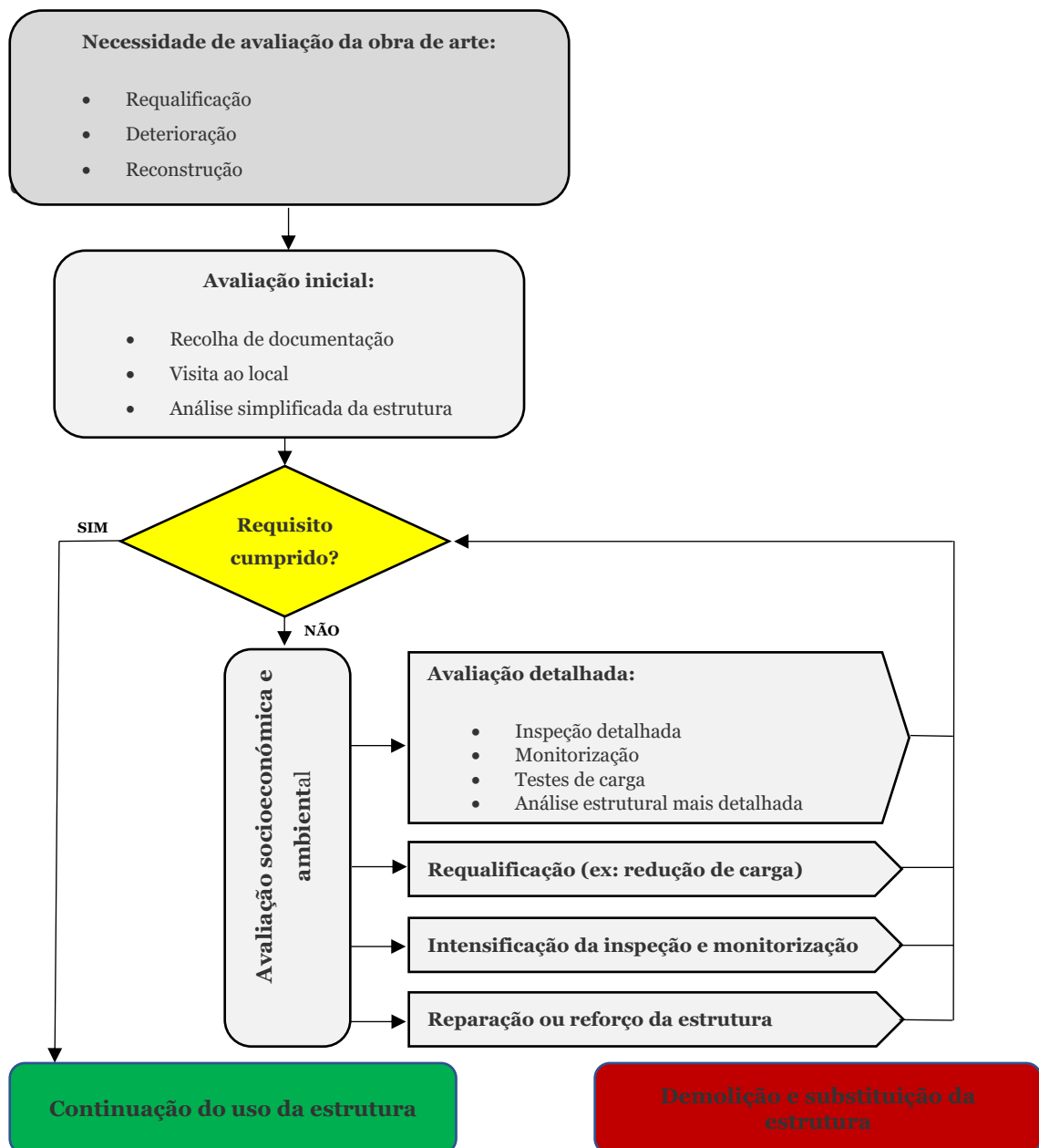


Figura 2.4 – Processo de avaliação, inspeção e intervenção em pontes de betão armado (adaptado a partir de [26]).

No que diz respeito aos ensaios de diagnóstico a realizar, estes devem ser devidamente escolhidos de modo a obter informações corretas sobre o parâmetro que se pretende analisar, tentando sempre ser o menos invasivo possível, usando métodos não destrutivos e que sejam economicamente viáveis, tendo sempre em conta o grau de necessidade da inspeção. Na tabela 2.4 podem-se verificar alguns dos ensaios mais comuns realizados em elementos de betão armado.

Quando a degradação do betão ou a corrosão das armaduras se tornam inaceitáveis, pondo em causa as condições de segurança ou funcionalidade da estrutura, é necessário realizar uma intervenção nos elementos de betão armado que constituem a estrutura [21]. A norma EN 1504 - 9 define 37 métodos de reparação baseados em 11 princípios que se resumem na tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Princípios e métodos de reparação do betão segundo a EN 1504 - 9

<i>Princípio</i>	<i>Definição</i>	<i>Método</i>	<i>Descrição</i>
Deterioração do betão			
P1	Proteção contra substâncias agressivas	M1.1	Impregnação hidrófoba
		M1.2	Selagem dos poros do betão
		M1.3	Revestimento de fendas com membrana
		M1.4	Preenchimento de fendas
		M1.5	Alterar a fenda para uma junta
		M1.6	Proteção da estrutura com barreira exterior
		M1.7	Proteção superficial com pintura
P2	Controlo de humidade no betão	M2.1	Impregnação hidrófoba
		M2.2 ^a	Selagem dos poros do betão
		M2.2b	Proteção superficial com pintura
		M2.3	Proteção da estrutura com barreira exterior
		M2.4	Desumidificação eletroquímica
P3	Substituição do betão	M3.1	Argamassa colocada à colher
		M3.2	Betão moldado
		M3.3	Argamassa ou betão projetado
		M3.4	Substituição de elementos estruturais
P4	Reforço de elementos	M4.1	Substituição/complementação da armadura
		M4.2	Introdução de armadura em furos
		M4.3	Reforço por encamisamento metálico ou por fibras de carbono
		M4.4	Reforço por encamisamento com betão
		M4.5	Injeção de fendas e vazios
		M4.6	Preenchimento por gravidade de fendas e vazios
		M4.7	Pré-esforço exterior
P5	Aumento da resistência do betão	M5.1 ^a	Aplicação de uma superfície de desgaste
		M5.1b	Aplicação de membranas
		M5.2	Impregnação da superfície do betão
P6	Aumento da resistência química	M6.1 ^a	Aplicação de uma superfície de desgaste
		M6.1b	Aplicação de membranas
		M6.2	Aplicação de selantes
Corrosão de armaduras			
P7	Repassivação das armaduras	M7.1	Aumento do recobrimento com betão ou argamassa
		M7.2	Substituição do betão contaminado
		M7.3	Realcalinização eletroquímica
		M7.4	Realcalinização passiva
		M7.5	Dessalinização eletroquímica

Tabela 2.6 – Princípios e métodos de reparação do betão segundo a EN 1504 – 9 (cont.)

P8	<i>Aumento da resistividade elétrica do betão</i>	M8.1	<i>Controlo da humidade do betão com revestimentos superficiais</i>
P9	Controlo das zonas catódicas das armaduras	M9.1a	Controlo da penetração de oxigénio por saturação do betão
		M9.1b	Controlo da penetração de oxigénio por membranas
P10	Proteção catódica das armaduras	M10.1a	Proteção catódica passiva
		M10.1b	Proteção catódica ativa
P11	Controlo das zonas anódicas das armaduras	M11.1	Proteção das armaduras com pinturas de sacrifício
		M11.2	Proteção das armaduras com pinturas de barreira
		M11.3	Inibidores de corrosão para reparação

2.4.5 Inspeção de edifícios habitacionais

Segundo os Censos de 2011, o estado de conservação dos edifícios, de acordo com os critérios aplicados, revela que 1,7% dos edifícios se encontravam muito degradados e 27,3% necessitavam de reparações, o que corresponde a 965.782 edifícios. A maioria dos edifícios, 71% que correspondem a 25.194.52 encontravam-se em bom estado de conservação e não necessitavam de reparações [33]. Embora estes dados não sejam atualizados desde a data referida, é possível compreender que estes são consequência direta de um parque habitacional pouco envelhecido, que reflete a dinâmica construtiva das últimas décadas bem como a importância que a área da reabilitação tem vindo a ganhar e os consequentes avanços nas técnicas de inspeção e manutenção dos edifícios.

Para se poder falar sobre a inspeção de edifícios habitacionais, há que falar também no conceito de envolvente dos mesmos. De forma geral, a envolvente de um edifício é o conjunto de elementos que separam o interior do exterior da habitação, podendo estes elementos ser afetados por ações provenientes tanto do exterior como do interior.

Estes elementos, têm que ser capazes de satisfazer um conjunto de exigências (Tabela 2.7) por forma a manter o estado de conservação da edificação num nível aceitável e garantir que a mesma seja capaz de cumprir o objetivo para qual foi concebida e as exigências dos seus ocupantes, sempre dentro dos limites aceitáveis no que respeita à relação custo/benefício, sem prejudicar quer os utilizadores do edifício quer entidades terceiras [34].

Tabela 2.7 – Exigências a cumprir pelos diversos elementos da envolvente (adaptado a partir de [8]).

<i>Elementos da envolvente</i>	<i>Zona</i>	<i>Exigência a cumprir</i>
Elementos verticais	Opaca	Isolamento térmico
		Resistência ao fogo
		Isolamento acústico
		Estanquidade da água
		Controlo da permeabilidade ao vapor
		Compatibilidade entre paredes e estrutura
	Envidraçados	Tratamento de pontes térmicas
		Estanquidade da água
		Controlo da permeabilidade ao ar
		Isolamento térmico
		Isolamento acústico
		Resistência ao vento
		Controlo da transmissão luminosa
Controlo da condensação		
Fator solar máximo		
Cobertura	Zonas comuns	Estanquidade à água do revestimento
		Controlo da permeabilidade ao vapor
		Controlo da permeabilidade ao vapor
		Resistência térmica
	Ligações com elementos salientes e capeamentos	Estanquidade das ligações com elementos salientes e capeamentos
	Drenagem de águas pluviais	Escoamento eficaz

Devido à grande heterogeneidade de materiais e sistemas que compõem a envolvente do edifício, torna-se difícil encontrar uma metodologia de inspeção que abranja todos os cenários possíveis. No entanto, embora cada edifício seja único e conseqüentemente as patologias que surgem na sua envolvente também o sejam, é possível detetar alguns padrões a quando da análise de um número significativo de inspeções já efetuadas ao longo dos anos, podendo assim construir uma base de dados fidedigna sobre o tipo de patologias mais recorrentes e em que elementos estas geralmente surgem [34].

Segundo [35] as anomalias podem ser de dois tipos:

- Carácter estrutural – Fundações, paredes de alvenaria, estruturas de betão armado, estruturas de madeira e pavimentos – Podem por em causa a segurança e estabilidade da estrutura
- Carácter não estrutural – Elementos primários (paredes, pavimentos e coberturas), elementos secundários (caixilhos, vãos envidraçados e outros), revestimentos e acabamentos – Geralmente não colocam em causa a segurança da estrutura, mas comprometem as exigências funcionais e o correto desempenho dos elementos constituintes da envolvente do edifício.

Tendo por base alguns autores [8, 20, 28–30], na tabela 2.8 apresenta-se um resumo dos elementos da envolvente exterior dos edifícios com maior incidência de anomalias, referindo quais as anomalias mais recorrentes em cada um deles e os fatores que as provocam.

Tabela 2.8 – Anomalias mais correntes nos elementos constituintes da envolvente dos edifícios [8, 20, 28–30].

<i>Elementos</i>	<i>Anomalias</i>	<i>Possíveis Causas</i>
Coberturas Inclinadas	Condensações	Insuficiência dos sistemas de ventilação e isolamento
	Defeitos nas fixações	Ausência ou insuficiência de fixações; Ocorrência de deformação e corrosão.
	Degradação de cordões de estanquidade	Movimentos de origem térmica e o aparecimento de tensões de corte superiores à capacidade de aderência dos cordões às superfícies das chapas.
	Sobreposição insuficiente ou excessiva	Incumprimento de valores de recobrimento transversal e longitudinal e do número de unidades a colocar por m ² .
	Deformações acentuadas do revestimento	Assentamento e fluência da estrutura de suporte; Ação de agentes atmosféricos e outros.
	Corrosão	Agentes atmosféricos; Condensações.
Coberturas Planas	Fissuração /Fraturação	Assentamentos diferenciais dos elementos da estrutura de suporte; Existência de vãos excessivos associados à fixação de cargas não previstas no projeto; Ações de choque; Redução da resistência mecânica; Constrangimento dos elementos por fixações demasiado rígidas e sem folga, que impedem a deformação quando sujeitos a variações térmicas.
	Fissurações	Envelhecimento natural e/ou prematuro do material impermeabilizante; Retração inicial e movimentos térmicos; Aplicação inadequada; Ausência de caminhos de circulação em coberturas de acesso limitado;
	Perfurações	Ausência de proteção; Cargas pontuais de natureza dinâmica Ausência de caminhos de circulação; Fixação inadequada de equipamentos diversos e guarda de proteção;

Tabela 2.8 – Anomalias mais correntes nos elementos constituintes da envolvente dos edifícios [8, 20, 28-30]. (cont.)

	<i>Empolamentos</i>	<i>Revestimentos de impermeabilização sem as características adequadas;</i> <i>Colagem inadequada das camadas do revestimento de impermeabilização;</i> <i>Presença de materiais estranhos confinados entre o revestimento e o suporte;</i> <i>Existência de bolsas de ar, vapor de água entre o revestimento e o suporte;</i>
	Descolamentos das juntas de sobreposição	Aplicação do revestimento em condições adversas; Aplicação incorreta do material;
	Arrancamento do revestimento	Aplicação do revestimento sem proteção pesada; Perda de aderência ao suporte; Deslocamentos;
	Permanência prolongada da água	Mau planeamento ou execução do sistema de drenagem de águas pluviais; Desenvolvimento de vegetação;
Fachadas	Fendilhação	Retração e dilatação; Erros associados à dosagem da argamassa; Espessura inadequada do revestimento;
	Eflorescências	Presença de solúveis no reboco, no suporte ou na água; Presença prolongada de humidade;
	Perda de aderência	Presença de humidade ou sais; Dilatação e contração térmica; Movimentação do suporte;
	Erosão	Ação de agentes atmosféricos (vento, chuva, variações de temperatura); Ação humana (choque ou atrito);
Caixilharia e vãos	Condensações	Falta de ventilação; Elevada humidade ambiente; Isolamento térmico insuficiente;
	Deformações	Variações de temperatura; Elevada concentração de humidade; Má aplicação da estrutura da caixilharia;
	Deslocamentos	Ação química (oxidação de elementos de suporte); Má qualidade do material;
	Frestas e Folgas	Utilização incorreta; Aplicação indevida do material;
	Infiltrações	Utilização incorreta; Aplicação indevida do material;

A identificação das anomalias em edifícios é geralmente efetuada através de uma inspeção visual simples, que caso mostre um elevado grau de anomalias, avança para uma inspeção mais detalhada, na qual se realizam diversos ensaios, como os referidos na tabela 2.4.

No entanto, novas tecnologias tais como, fotogrametria, *laser scanning*, mapeamento com recurso a drones, ou a stereo-fotogrametria, permitem uma rápida coleta de dados e informações que após processados fornecem elementos precisos para a avaliação de anomalias existentes, de uma forma mais expedita e proporcionando um maior grau de segurança para o técnico que realiza a inspeção [38].

2.4.6 Inspeção de obras de arte

As pontes são componentes importantes das infraestruturas de comunicação que devem ser devidamente mantidas de modo a assegurar a segurança dos seus utilizadores, para tal, inspeções regulares e de boa qualidade são um componente essencial para preservar este tipo de obras [39].

Na engenharia, uma obra de arte é a designação dada a uma estrutura de grande envergadura, composta por vários elementos estruturais de acordo com as disposições de um projeto, com o objetivo de permitir o estabelecimento de uma via de comunicação.

Existe diferença entre obras de arte correntes e especiais, sendo a primeira designação referente a passagens agrícolas e hidráulicas, passagens superiores e inferiores e de peões, a segunda designação refere-se a pontes, viadutos e tuneis [4].

No contexto das pontes e viadutos, pode-se identificar diversas tipologias estruturais, das quais se podem destacar três grandes famílias, pontes em viga (Figura 2.4), pontes em arco (Figura 2.5) e pontes suspensas (Figura 2.6).

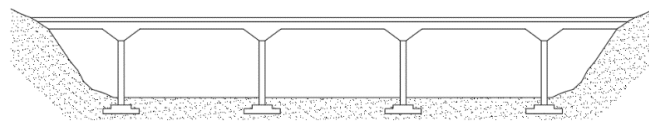


Figura 2.4 – Pontes em viga

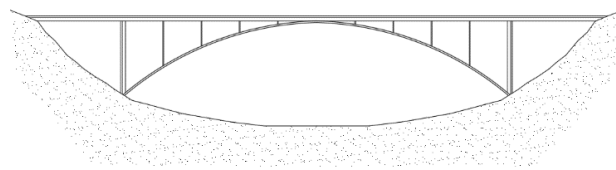


Figura 2.5 – Pontes em arco

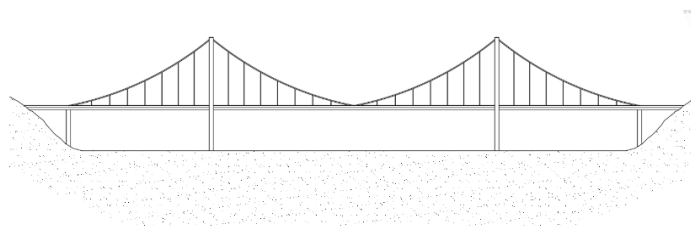


Figura 2.6 – Pontes suspensas

Segundo [24], para fins de inspeção, a estrutura das pontes pode dividir-se nos seus elementos principais, nomeadamente, a superestrutura, infraestrutura e fundações, posteriormente estes elementos subdividem-se nos seus componentes mais particulares.

2.4.6.1 – Superestrutura

O tabuleiro da ponte é normalmente o componente que recebe maior prioridade a quando da inspeção, uma vez que é este elemento que recebe diretamente a solicitação das cargas. É por isso importante conseguir identificar o tipo de anomalias que surgem neste elemento e conseguir traçar uma correlação entre as ações que ocorrem na ponte e o surgimento de tais anomalias. Na tabela 2.8 resume-se as anomalias mais recorrentes nos tabuleiros das pontes e as suas possíveis causas.

Tabela 2.8 – Anomalias mais recorrentes em tabuleiros de pontes [13].

<i>Anomalia</i>	<i>Causas/descrição</i>
Tabuleiros de betão armado	
Fendilhação	<ul style="list-style-type: none"> • Retração do betão • Variações de temperatura • Forças atuantes na estrutura • Corrosão das armaduras • Ações acidentais • Falha dos elementos de suporte <p>O tamanho e direção das fendas pode variar, tal como em qualquer outro elemento de betão armado, consoante a origem da fenda.</p>
Destacamento	<ul style="list-style-type: none"> • Forças de pressão devido a variações de temperatura • Corrosão de armaduras • Recobrimento insuficiente <p>A causa mais comum para esta anomalia é a corrosão das armaduras. O aumento de volume de material corrosivo causa tensões no betão, fazendo com que este fissure e consequentemente ocorra o destacamento.</p>
Lixiviação	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração de água <p>Esta anomalia geralmente causa o surgimento de manchas, eflorescências, incrustações e no pior dos casos estalactites formadas pelos sais presentes no betão diluídos pela água infiltrada.</p>

Tabela 2.8 – Anomalias mais recorrentes em tabuleiros de pontes [13]. (cont.)

Tabuleiros de betão pré-esforçado	
Destacamento	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de pré-esforço em demasia • Betão sem resistência apropriada ao pré-esforço • Corrosão das armaduras <p>Importante verificar as zonas de entrega das vigas, diretamente sobre os apoios e nas faces onde foi aplicado o pré-esforço.</p>
Fissuras	<ul style="list-style-type: none"> • Retração do betão • Variações de temperatura • Forças atuantes na estrutura • Corrosão das armaduras • Ações acidentais • Material de preenchimento de baixa qualidade ou mal aplicado <p>As causas para o surgimento de fissuras em tabuleiros com pré-esforço são as mesmas dos tabuleiros de betão armado, no entanto é importante que se verifique com mais detalhe as zonas inferiores do tabuleiro ao longo da posição dos cabos de pré-esforço e as zonas de ancoragem.</p>
Tabuleiros mistos (Betão e Aço)	
Corrosão	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltrações • Falta de proteção dos elementos metálicos • Sistema de drenagem mal concebido <p>A corrosão é a anomalia que mais surge em elementos metálicos, como tal é necessário dar especial atenção a estes elementos a quando da inspeção, verificando ligações entre elementos metálicos, conexões entre elementos metálicos e de betão armado, empoçamento de água entre a alma e os banzos das seções metálicas e a desobstrução dos sistemas de drenagem.</p>
Fratura	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas excessivas • Deslocamentos excessivos • Ações acidentais <p>Os elementos de aço nas pontes são sujeitos, mais que o normal, à fadiga devido aos deslocamentos e vibrações que estes tipos de estruturas sofrem. É por isso importante verificar se existe fendilhação nos elementos metálicos e controlar a propagação destas. É importante também controlar os deslocamentos da estrutura de modo a evitar que estes ultrapassem os estados limites de segurança definidos em projeto.</p>

2.4.6.2 – Infraestrutura

As infraestruturas de uma ponte incluem todos os elementos abaixo do nível do tabuleiro, com os pilares, encontros e muros de contenção e maciços de encabeçamento.

Estes elementos apresentam geralmente as anomalias típicas em elementos de betão armado, no entanto é necessário salientar que as pontes geralmente estão expostas a condições ambientais mais agrestes, e como tal, os elementos de suporte como os pilares, especialmente os que se encontram em zonas de passagem de água, estão sujeitos a efeitos de erosão, sendo necessário inspecionar de forma cuidada de modo a verificar a existência de destacamentos, exposição de armaduras ou deformações excessivas causadas pela perda de secção e a consequente perda de resistência do elemento.

2.4.6.3 – Fundações

As fundações são os elementos mais difíceis de inspecionar, uma vez que na maior parte dos casos estas se encontram enterradas a grande profundidade ou até mesmo submersas, não podendo assim realizar uma inspeção visual por forma a encontrar sinais de rotura ou desgaste das mesmas.

Uma das preocupações nas fundações de pontes, especialmente das que atravessam cursos de água, é o “descalçamento” da fundação devido ao movimento natural das correntes de água. Esta movimentação dos solos de fundação ocorre ao longo dos anos e juntamente com esta remoção de solo em torno das fundações, estão também associados problemas de desgaste. Estes dois fatores quando combinados colocam em risco a segurança e estabilidade de toda a estrutura, sendo que na maior parte dos casos em que esta anomalia surge, devido à falta de inspeção, o colapso da estrutura acaba por ocorrer.

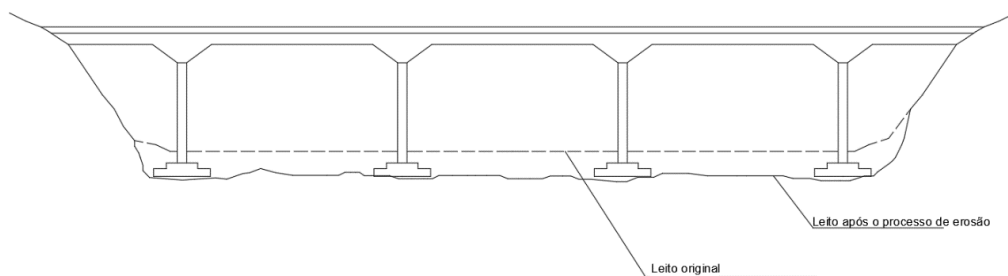


Figura 2.7 – Exemplo de como o processo de erosão pode causar a exposição da fundação.

As formas como se executam inspeções visuais em pontes têm geralmente associadas um elevado custo e risco, o que por vezes faz com que a regularidade destas inspeções seja reduzida. As inspeções visuais geralmente envolvem percorrer a ponte a pé, inspecionando a parte superior do tabuleiro ou com o uso de binóculos para inspecionar zonas mais altas ou de difícil acesso, a utilização de estruturas auxiliares como andaimes para aceder às laterais e à zona inferior do tabuleiro ou a utilização de gruas para inspecionar estas mesmas zonas de difícil acesso [40].

Estes métodos de inspeção acarretam um elevado risco para o técnico que executa a inspeção e também um elevado tempo e custo. Por forma a colmatar estas barreiras, vários estudos têm sido feitos para encontrar novas tecnologias que possam auxiliar neste tipo de inspeção, nomeadamente o uso de *laser scanning* fixo para criar modelos digitais da estrutura que podem ser depois tratados em suporte informático [39], ou indo mais de encontro ao tema desta dissertação, o uso de drones para mapeamento destas estruturas, devido à grande rapidez de mapeamento, baixo custo quando comparados

com os métodos tradicionais e qualidade de informação recolhida, estes apresentam uma tecnologia bastante promissora para inspeção de obras de arte, como concluíram Koch [41] num estudo onde os autores realizaram a análise de grandes estruturas, incluindo pilares de pontes através da reconstituição da superfície dos elementos em 3D para identificar danos.

2.5 – Notas finais

As inspeções devem fornecer informações objetivas e inequívocas que possam ser utilizadas como base para a decisão da necessidade de intervenção e das anomalias que devem ser reparadas com maior urgência [16].

Estas devem ser feitas de forma regular por forma a garantir um bom nível de manutenção e segurança, monitorizando e acompanhando a evolução de anomalias já existentes ou o surgimento de novas incidências.

Geralmente as anomalias que têm potencial de causar graves danos à construção podem ser detetadas em simples inspeções regulares e resolvidas de forma relativamente rápida e económica, quando detetadas precocemente.

No entanto, dependendo do tipo de construção, estas inspeções regulares podem tornar-se dispendiosas, estando muitas vezes condicionadas pela necessidade de utilização de equipamento auxiliar como veículos especiais ou andaimes, que para além de terem um custo elevado, podem por em risco a segurança dos seus utilizadores.

Assim, por vezes opta-se por não se inspecionar de forma cuidada locais de difícil acesso nas construções, fazendo apenas um *Check-up* superficial, podendo estas anomalias passarem despercebidas até que evoluam ao ponto de criarem incidências em zonas de melhor acesso.

É de encontro a esta necessidade de se inspecionar de forma mais regular, económica e segura estas zonas de difícil acesso, que os drones surgem como uma ferramenta de grande importância nas inspeções, pois não só permitem a observação destas zonas de forma precisa, através de câmaras de alta resolução, podendo detetar anomalias que a olho nu passariam despercebidas, mas também de forma segura e económica, evitando custos de utilização de equipamentos auxiliares como os referidos anteriormente.

No capítulo seguinte será feito um enquadramento histórico sobre drones, bem como os diferentes tipos de aparelhos que existem, quais os campos de aplicação em que hoje em dia se inserem e a sua importância na inspeção visual de construções.

Capítulo 3

3. Inspeção visual com recurso a drones

3.1 Enquadramento histórico

O desejo de voar do ser humano sempre esteve presente no nosso pensamento. No entanto a ideia de utilizar uma máquina capaz de voar sem um ser humano no seu interior sempre esteve na mente dos investigadores e principalmente das forças militares [42].

As guerras sempre foram impulsionadoras do desenvolvimento tecnológico e os drones não foram exceção. Um dos primeiros registos de veículos aéreos não tripulados remota a 1849, durante a batalha de *Custoza*, quando as forças armadas Austríacas lançaram a partir de uma fragata, cerca de 200 balões carregados com explosivos contra a cidade italiana de Veneza [7].

Anos mais tarde, durante a primeira Grande Guerra Mundial, com a introdução da produção em massa de aviões de combate, surgiu a dificuldade em substituir os aviões e pilotos abatidos, algo que ocorria com bastante frequência. Por forma a resolver este problema, os líderes militares começaram a conceber as primeiras ideias de veículos aéreos não tripulados e em 1917, o americano Elmer Sperry criou, para a marinha norte americana, uma aeronave que era controlada por controlo remoto. Esta aeronave continha um piloto que era responsável apenas pelo *take-off* da aeronave e pela sua aterragem, todas as outras fases do voo eram controladas remotamente [36, 37].

Após a primeira grande guerra, os aviões de combate começaram a ficar mais rápidos e robustos, o que trouxe a necessidade de treinar os seus pilotos de forma a estes serem capazes de adquirir maior destreza em situações de combate. Para alcançar tal requisito começaram a ser desenvolvidos aviões não tripulados cuja finalidade era serem alvos de treino, também conhecidos como PTA's (*Pilotless Target Aircraft*). A necessidade do desenvolvimento destes aparelhos de treino levou à criação de um programa por parte das forças armadas britânicas que culminou na criação da "*Queen Bee*", a primeira aeronave não tripulada capaz de regressar ao seu ponto de partida a não ser que fosse abatida. De salientar que esta aeronave foi também a primeira a ser denominada de "Drone" [42].

Os avanços tecnológicos avançaram de forma significativa durante a segunda grande guerra e a guerra fria. A obtenção de informação sobre as forças armadas inimigas era a maior preocupação e sabe-se que tanto os Estados Unidos da América como a União Soviética usaram drones de espionagem para obtenção de informação [43].

Após o onze de setembro, os conflitos no Afeganistão e Iraque bem como o combate ao terrorismo, contribuíram de forma significativa para o aumento do uso de drones. Estes confrontos aliados aos avanços tecnológicos em diversas áreas, permitiram a adaptação dos drones para outros fins além dos militares.

Em 2006 deu-se o primeiro passo para o uso de drones de forma comercial e recreativa, tendo a FAA (*Federal Aviation Administration*) emitido nesse ano uma licença que permitia o uso de drones de forma comercial [43]. Anos mais tarde, em meados de 2010, a capacidade de construir componentes de menores dimensões fez com que os drones se tornassem mais acessíveis ao público comum, tanto monetariamente como também na facilidade de manipulação destes aparelhos, uma vez que nesta altura também se fizeram grandes avanços na programação de pilotos automáticos e dos sistemas de voo [7].

Em 2015, a segurança de utilização destes aparelhos mudou drasticamente com a introdução de sensores de colisão, introduzidos pela primeira vez pela SZ DJI Technology Co. [7].

É possível notar uma significativa diminuição do intervalo de tempo entre avanços e descobertas tecnológicas consecutivas. Isto mostra que traçamos um caminho cada vez mais aberto a novas ideias e novas formas de usar a tecnologia que dispomos ao nosso alcance. No que diz respeito aos drones houve uma grande evolução, desde balões com explosivos até aos mais recentes modelos com capacidade de obtenção de imagens de alta resolução e voos completamente autónomos.

A previsão é que a utilização destes aparelhos continue a seguir vertentes cada vez mais distintas e com isso, também a tecnologia utilizada nestes se irá adaptar e evoluir conforme os fins para os quais estes aparelhos sejam usados.

3.2 Tipos de drones

3.2.1 – Principais componentes de um drone

Segundo Falorca e Lanzinha. [7], em termos genéricos, pode dizer-se que um drone é um aparelho robótico voador sem um piloto no seu interior, sendo este controlado remotamente a partir de um operador no solo. Estes aparelhos são constituídos por inúmeros componentes que no seu conjunto fazem do drone uma ferramenta tecnológica extremamente versátil e capaz de responder às necessidades de diferentes áreas.

Hoje em dia, os drones mais recentes já contam com sistemas de sensores altamente sofisticados, capazes de detetar obstáculos e ajudar a manter um voo estável, sistemas de GPS/GLONASS que possibilitam uma maior acurácia a quando de voos automatizados e câmaras de alta resolução, capazes de produzir imagens com detalhes milimétricos que no âmbito da inspeção de construções é de extrema importância.

Os avanços tecnológicos nas diversas áreas que contribuíram para o surgimento dos drones permitiram que estes aparelhos fossem ficando cada vez mais aptos a serem inseridos no mercado, tanto para o setor profissional como recreativo, tornando-se mais fáceis de utilizar e também com um custo significativamente mais reduzido. Na tabela 3.1 foram resumidos os principais aspetos e características tecnológicas relacionadas com os drones e os seus principais componentes.

Tabela 3.1 – Principais componentes e características de um drone (adaptado a partir de [37]).

<i>Drones</i>	
<i>Principais componentes</i>	<i>Tecnologia mais detalhada</i>
<ul style="list-style-type: none">- Estrutura principal<ul style="list-style-type: none">• Asa fixa• Multi-rotor• Híbrido- Rotores- Hélices- Fonte de alimentação<ul style="list-style-type: none">• Baterias<ul style="list-style-type: none">○ Zinco-Carbono○ Prata-Zinco○ Alcalinas○ Lítio• Motores• Turbinas• Energia solar (painéis fotovoltaicos)- Câmara- Antena- Controlo remoto	<ul style="list-style-type: none">- Inertial Measurment System (IMU)- Sistema de GPS / GLONASS- Placa de circuitos- Taquímetro- Altímetro- Sensores- Controlador de voo- Transmissores- Recetores

Os modelos mais usuais e também os mais indicados para este trabalho de inspeção, como se irá explicar ainda neste capítulo com maior detalhe, são os multi-rotóres. No entanto existem outros tipos, como uni-rotóres (helicópteros não tripulados), drones de asa fixa, híbridos e ornitópteros. Estes últimos são drones que baseiam a sua propulsão em seres vivos como pássaros ou insetos. São aparelhos que se encontram ainda numa fase de desenvolvimento e por isso não têm ainda expressão na área comercial [44].

Embora existam vários tipos de drones a sua composição básica é semelhante (Figura 3.1), uma estrutura principal que suporta todos os componentes, rotores que fazem as hélices girar e que por sua vez criam força de sustentação, baterias para alimentar os componentes eletrónicos do drone, antena para estabelecer conexão com o controlo remoto, suportes de aterragem para sustentar o drone no solo e câmara de alta resolução para captar imagens e vídeos.

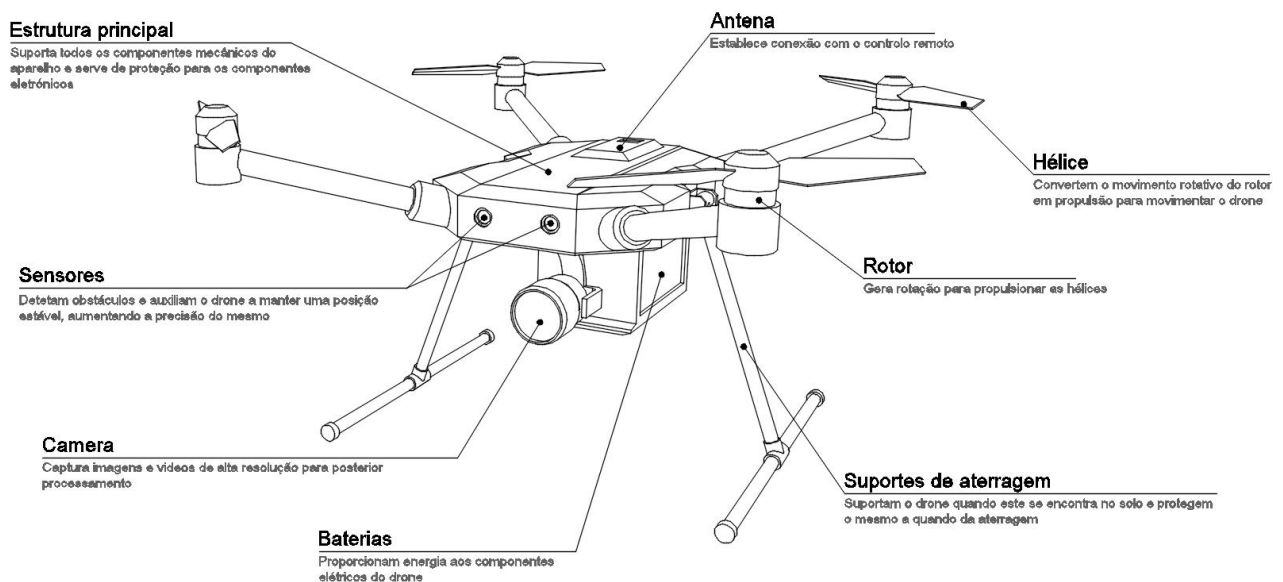


Figura 3.1 – Principais componentes de um drone, (baseado em [45]).

3.2.2 – Classificação de drones

Na literatura encontram-se várias propostas de classificação, no entanto, as características utilizadas como base para essas classificações são de forma geral sempre as mesmas como o peso, dimensões, autonomia de voo, tipo de carga suportada e tipo de sistema de voo.

Por exemplo Gupta [46], baseando-se essencialmente no alcance e dimensões, classificou os drones como *HALE (High Altitude Long Endurance)*, *MALE (Medium Altitude Long Endurance)*, *MUAV (Mini UAV)*, *MAV (Micro Air Vehicle)* ou *NAV (Nano Air Vehicle)*.

Já Hassanalian [47], resumiu os sistemas de classificação de diferentes autores num espectro (Figura 3.2) que relaciona as dimensões do drone com o seu peso, propondo posteriormente uma classificação mais detalhada onde introduziu subcategorias baseadas no sistema propulsão utilizado (Figura 3.3).

Envergadura						
61 m	2 m	1 m	15 cm	2.5 cm	0.25 cm	1 mm
UAV	μUAV	MAV	NAV	PAV	SD	
15000 kg	5 kg	2 kg	50 g	3 g	0.5 g	0.005 g
Peso						

Figura 3.2 – Espectro de drones, desde UAV até SD [47].

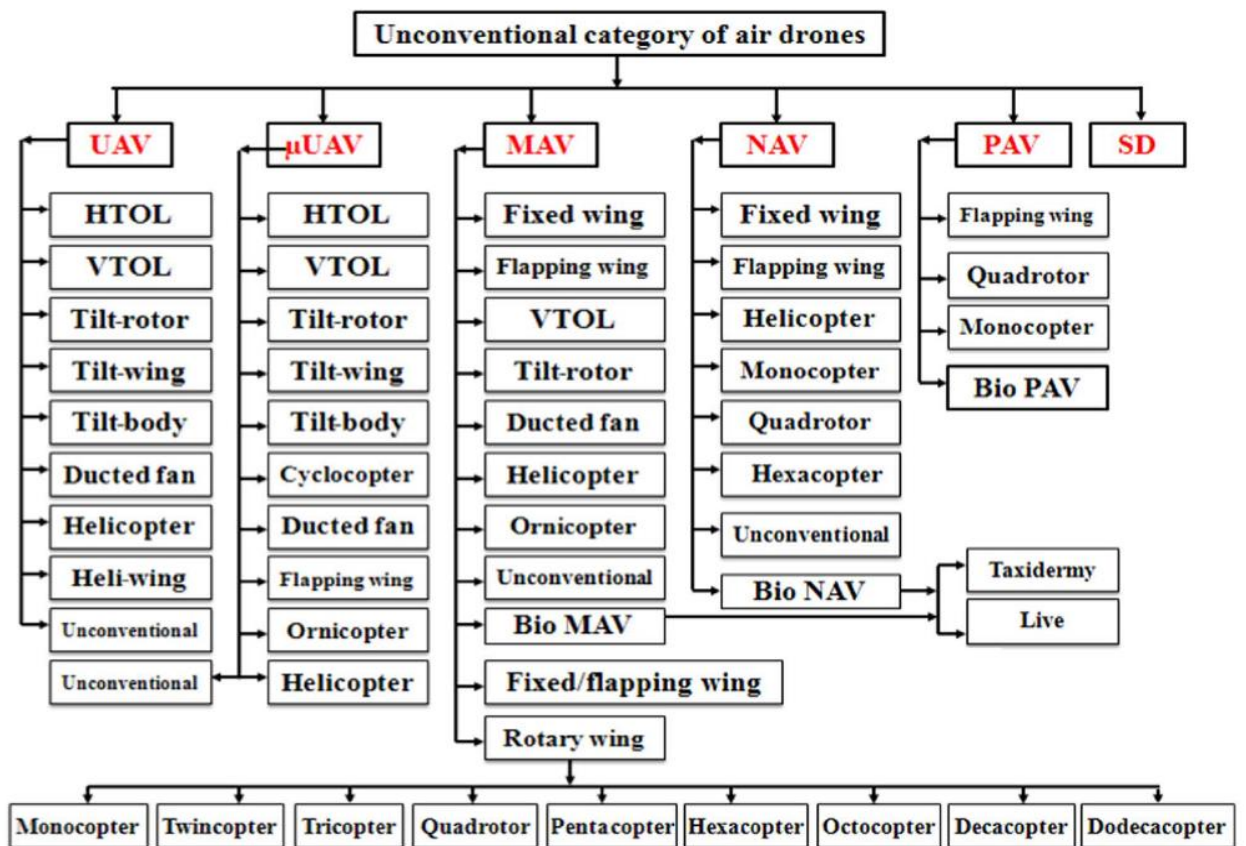


Figura 3.3 – Diferentes tipos de drones [47].

Num dos extremos foram colocados os UAV's (*Unmanned Air Vehicles*), aeronaves com uma envergadura máxima de 61m e um peso máximo de 15000 kg. No outro extremo encontram-se os SD (*Smart Dust*), pequenas aeronaves com uma dimensão mínima de 1mm e peso mínimo de 0.005kg. Entre estes extremos encontram-se as μUAV (*Micro UAV*), MAV (*Micro Air Vehicle*), NAV (*Nano Air Vehicle*) e PAV (*Pico Air Vehicle*).

Por forma a enquadrar os drones nas diferentes áreas onde estes atuam é importante ter em conta os aspetos principais de cada aparelho e categorizá-los com base nesses aspetos. Assim, indo de encontro ao tema desta dissertação considerou-se importante ter em consideração os seguintes aspetos:

- **Peso** – Tendo em conta que muitos dos trabalhos de inspeção se realizam em zonas movimentadas o peso do aparelho torna-se um fator importante a ter em consideração, pois o dano provocado pelo mesmo caso ocorra uma colisão ou uma avaria pode ser significativo caso a sua massa seja elevada, sendo assim importante avaliar o local de inspeção e escolher um aparelho apropriado ao mesmo.
- **Altitude de operação** – Caso seja necessário realizar uma inspeção a uma construção com uma altura considerável, o drone tem que ser capaz de atingir essa altitude, tornando-se este um critério importante na escolha.
- **Raio de ação** – Para a inspeção de construções com uma elevada extensão como estradas ou pontes o alcance do drone é um critério importante por forma a manter uma conexão estável entre o drone e o operador em toda a extensão da construção.
- **Autonomia** – Tal como no ponto anterior, para ações com extensão considerável a autonomia do drone é um critério importante a ter em conta, por forma a que o levantamento ocorra sem necessidade de várias paragens para repor as baterias do aparelho.

Como tal, no âmbito desta dissertação foi considerada a categorização apresentada por Falorca et al [7] (Tabela 3.2), obtida através da junção das principais características referidas anteriormente.

Tabela 3.2 – Classificação dos diferentes tipos de drones com base nas principais características (adaptado a partir de [37]).

Categoria	Peso (kg)	Altitude normal de operação (m)	Raio de missão (km)	Autonomia (horas)
Micro	<2	250	<10	1
Mini	2 a 20	150 a 300		<2
Pequeno alcance	20 a 150	3000	10 a 30	2 a 4
Médio alcance	150 a 600		30 a 70	3 a 6
MALE ¹	>600	>3000	>70	>6
HALE ²				
Combate				

1 – MALE – Medium Altitude Long Endurance / 2 – HALE – High Altitude Long Endurance

3.3 Campos de aplicação

Embora inicialmente concebidos para fins militares como referido anteriormente, os drones têm encontrado o seu lugar nas mais diversas áreas como uma ferramenta extremamente eficiente e capaz de recolher dados com elevada rapidez, qualidade e segurança, provando ser uma mais valia em termos económicos para muitas áreas.

Com o avanço tecnológico que têm ocorrido nas últimas décadas é natural que muitas áreas procurem inovar os seus serviços, procurando investir cada vez mais (Figura 3.4) em formas mais rápidas e seguras de executar determinado trabalho e é neste sentido que os drones têm vindo a ganhar cada vez maior visibilidade.

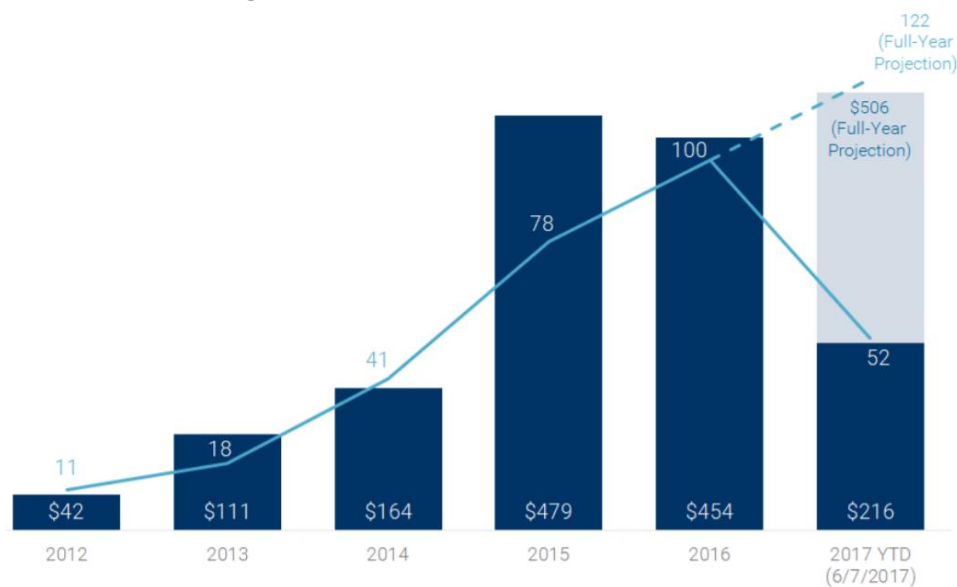


Figura 3.4 – Investimento (em Milhões de dólares) no sector global de drones entre 2012 e 2017 [48].

O mercado dos drones normalmente pode ser dividido em três grupos principais, uso militar, uso comercial e uso recreativo, no entanto na literatura encontram-se diversas categorizações de setores nos quais os drones têm potencial de crescimento. Por exemplo, Spyros et al. [49] considera a existência de cinco principais setores: emergências, meio-ambiente, monitorização e inspeção de infraestruturas, topografia e defesa e segurança.

Já Falorca e Lanzinha [7], referem que alguns estudos dividem o mercado dos drones em cinco setores principais: brinquedos, recreativo, profissional, comercial e militar

Na tabela 3.3, tendo por base diversos autores, para efeitos do presente trabalho, resumiram-se as principais áreas de aplicação dos drones tendo em consideração três principais setores:

- Recreativo - Inserem-se as áreas sem intuito de prestação de serviços;
- Civil – Inserem-se todas as áreas nas quais se tenciona prestar um serviço através dos drones, lucrativo ou não;
- Militar – Inserem-se todas as áreas correspondentes às forças armadas e governamentais;

Tabela 3.3 – Principais campos de aplicação dos drones [37, 39, 41–44].

Campos de aplicação			
Recreativo	Civil		Militar
- Fotografia / Filmagem; - Jogos (corridas de drones); - Cinema; - Brinquedos; - <i>Hobby</i> 's (como aeromodelismo);	Saúde: - Transporte de equipamento médico em situações de emergência; - Desinfestação de zonas de alguma forma contaminadas; Vigilância e segurança: - Controlo de tráfego automóvel - Recolha de informação; - Investigação em cenários de difícil acesso; - Missões de busca e salvamento; - Vigilância de zonas florestais em época de risco de incêndio; - Combate a incêndios; Meio ambiente: - Controlo de desflorestação; - Monitorização ecológica e ambiental; Transporte: - Entrega de encomendas; - Transporte de pessoas;	Agricultura: - Monitorização da saúde das plantações; - Cálculo de áreas e volumes; Indústria: - Monitorização de redes de gás e petróleo; - Monitorização de estruturas de telecomunicações e transmissão de energia elétrica; - Apoio ao cálculo de volumes e áreas em zonas de mineração; Topografia: - Mapeamento e levantamentos topográficos; Construção: - Monitorização da execução da obra; - Monitorização da produtividade em obra; - Controlo de segurança; - Controlo de qualidade; - Transporte de equipamentos; - Inspeção de construções;	- Vigilância e controlo de fronteiras; - Ataques aéreos; - Defesa do espaço aéreo e territorial;

A aplicação desta nova tecnologia permite assim que as empresas atuais criem novas áreas de negócio e novos modelos adaptáveis consoante as suas necessidades, sendo ideais em sectores onde a mobilidade e a elevada exigência no rigor de informação sejam fundamentais [48].

3.4 Drones na inspeção visual de construções

3.4.1 – Contextualização

Num comentário escrito por Dominique Chabot para o *Journal of Unmanned Vehicle System*, onde o mesmo refletiu sobre as tendências nas pesquisas efetuadas sobre drones e as suas aplicações [50], o mesmo constatou que entre 2013 e 2017, dentro das vinte e cinco áreas de aplicação consideradas, é no ramo da engenharia que se encontram o maior número de artigos publicados relativamente a drones (Figura 3.5).

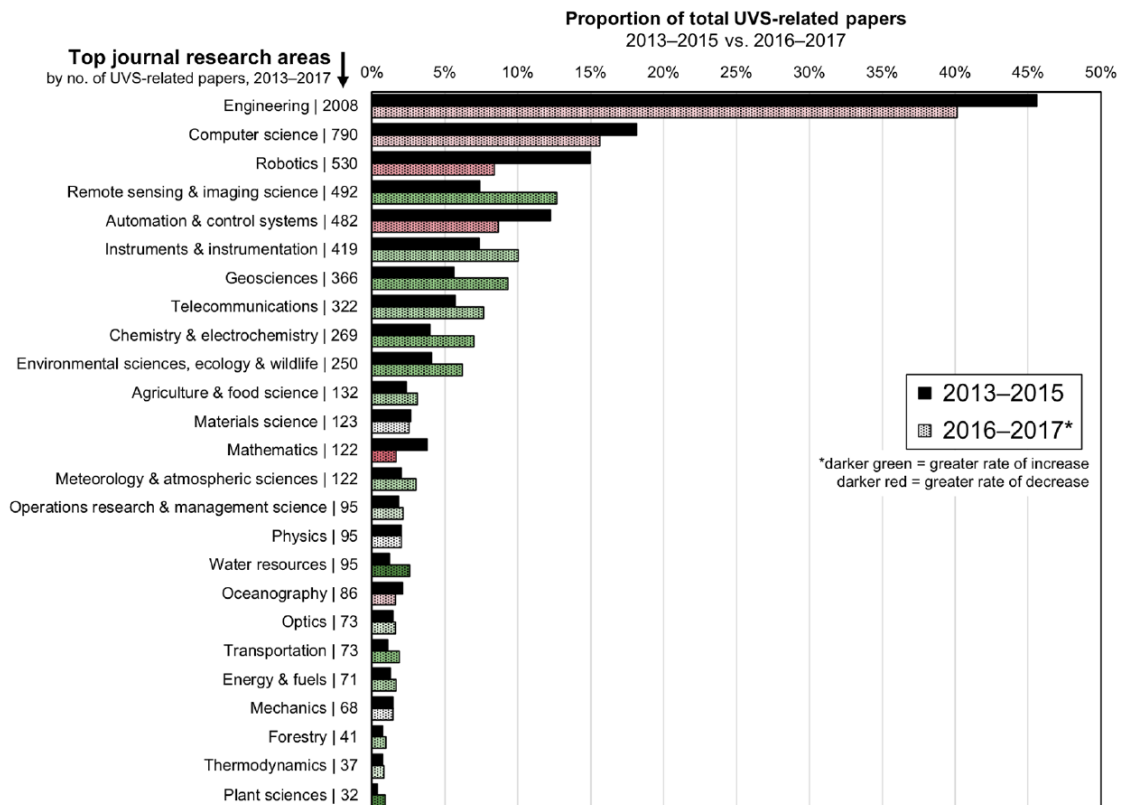


Figura 3.5 – Principais áreas sobre as quais foram escritos artigos sobre drones entre 2013 e 2017 [50]

Já Beirão [48] a partir da análise de um relatório efetuado em 2016 pela *PricewaterhouseCoopers (PwC)* constatou que dos oito setores considerados, o sector das infraestruturas apresenta a melhor projeção para o valor previsto das aplicações comerciais de drones, apontando para cerca de 45.2 mil milhões de Dólares (USD) em 2016 (Figura 3.6).

Tanto a nível de investigação como de investimento, o setor da construção mostra ser uma área onde os drones estão a encontrar grande aceitação. A utilidade destes aparelhos no ramo da engenharia civil tem sido cada vez mais explorada, estando hoje em dia presente na inspeção de construções, mapeamento aéreo quer para fins topográficos quer para avaliação do estado de conservação de estradas, na monitorização de estaleiros

onde é possível controlar a evolução dos trabalhos de construção e monitorar as condições de segurança, na monitorização de rios de modo a prever comportamentos indicadores de cheias, na monitorização de barragens auxiliando no cálculo de áreas do espelho de água e monitorando os níveis do mesmo, entre muitas outras aplicações [37, 46].

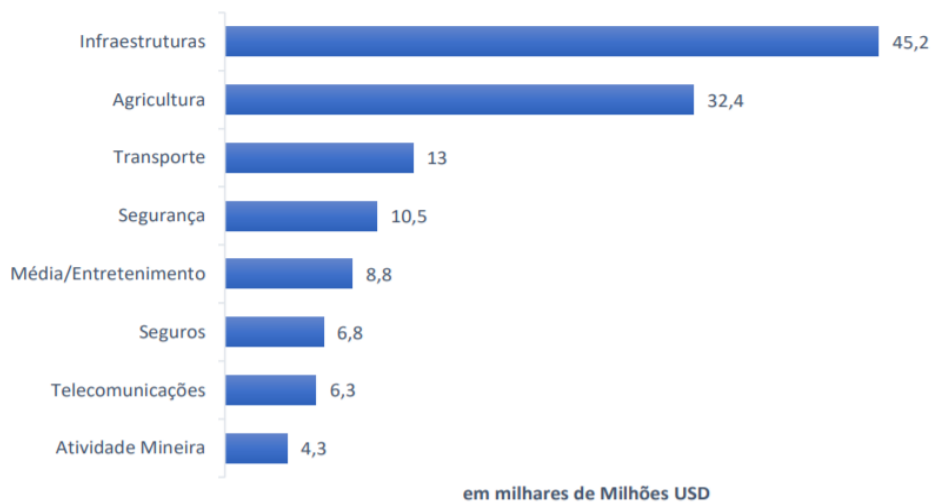


Figura 3.6 – Valor previsto das aplicações de drones a nível mundial por atividade, em 2016 [48]

3.4.2 – Drones na inspeção visual

Entre as diversas técnicas de inspeção de construções, a inspeção visual é das mais utilizadas, desempenhando um papel fundamental na deteção de anomalias e na definição de um modo de intervenção adequado ao estado de conservação da construção [52]. Hoje em dia, a inspeção visual em construções é efetuada através de métodos convencionais como a utilização de andaimes, cordas, plataformas elevatórias ou veículos especiais (Figura 3.7), métodos estes que acarretam sempre um elevado risco para os seus utilizadores e custos significativos [51].



Figura 3.7 – Métodos convencionais de inspeção: Veículos especiais (a), Cordas (b) [51].

No entanto, não só o risco é uma condicionante neste tipo de inspeções, mas também a qualidade das mesmas, que muitas é vezes comprometida devido à existência de locais de difícil acesso, como por exemplo a envolvente dos pisos superiores de edifícios altos e as zonas inferiores de pontes.

Além do risco e da qualidade, muitos destes equipamentos apresentam também um custo elevado, geralmente cobrado pelo tempo de utilização, que por norma, neste tipo de inspeções, acaba por ser também elevado. Por este motivo, muitas vezes as inspeções visuais acabam por não ser efetuadas de forma tão corrente quanto deveriam, pois os custos que advém da utilização dos meios necessários para a realização das mesmas acabam por ser insuportáveis, acabando por se negligenciar estas inspeções, o que mais tarde se traduz no surgimento de anomalias graves que podiam ter sido evitados caso tivessem sido detetadas prematuramente.

É no sentido de minimizar os riscos e os custos destas inspeções e também com o intuito que estas sejam realizadas mais frequentemente e com melhor qualidade, que os drones têm vindo a criar cada vez mais impacto dentro da inspeção visual, sendo estes ferramentas capazes de aceder a locais de difícil acesso, com segurança e rapidez, permitindo a recolha de dados, através de fotos e vídeos de alta resolução, nos quais é possível observar anomalias que passariam muitas vezes despercebidas ao olho humano além de inúmeras outras vantagens que estes aparelhos apresentam (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Algumas vantagens do uso de drones na inspeção visual (Adaptado a partir de [7]).

<i>Vantagens da utilização de drones</i>	
Comparativamente a outras soluções que necessitam de operador	<ul style="list-style-type: none"> • Drones podem voar em zonas de difícil acesso; • São económicos quando comparados com outros equipamentos de inspeção, principalmente por apresentarem um custo de operação baixo; • Os drones apenas precisam de um único controlador para operar o aparelho e a câmara, pode eventualmente ser necessário um observador auxiliar; • Podem ser utilizados em operações de perigosas sem colocar em risco a vida do seu operador;
Benefícios ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Devido ao seu tamanho reduzido comparativamente a outros equipamentos utilizados na inspeção de construções, estes também têm reduzido impacto ambiental, como por exemplo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ruído – Sendo alimentados por energia elétrica o único ruído provém dos rotores e das hélices, que é significativamente mais baixo quando comparado a outros equipamentos de inspeção, nomeadamente plataformas elevatórias ou veículos especiais; ○ Combustível – Sendo alimentados apenas por baterias, os drones não consomem qualquer tipo de combustível proveniente de fontes petrolíferas e consequentemente não produz qualquer tipo de poluição;
Vantagens para os utilizadores	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez e agilidade de trabalho quando comparado a outros equipamentos; • Captura de dados de alta resolução e de extrema qualidade; • Leves e fáceis de transportar; • Custo/benefício claramente mais favorável;

3.4.3 – Estruturação da inspeção visual com drone

Ciampa et al, num artigo publicado em 2019 sobre os usos dos drones na inspeção de construções [51], apresenta um fluxo de trabalho (Figura 3.8) para a inspeção com drones composto por quatro etapas essenciais: Identificação da construção, planeamento da trajetória de voo, recolha de imagens e por fim o processamento dos dados recolhidos.



Figura 3.8 – Fluxo de trabalho para a inspeção com drone (adaptado a partir de [51]).

Falorca et al. [7], apresentam os passos a seguir em cada etapa da inspeção, considerando duas etapas principais (Tabela 3.5). Na primeira, à semelhança das duas primeiras etapas propostas por Ciampa et al. [51], é feita a recolha de informação sobre a construção e das autorizações necessárias para a execução da inspeção, tanto da parte da entidade promotora como das autoridades de aviação responsáveis. Tendo obtido essas informações é depois elaborado um plano de voo, no qual se calendariza os dias que apresentam melhores condições meteorológicas e se traça uma linha de voo que deve ter em consideração o tempo de voo estimado por cada bateria do drone e o tipo de construção em análise. Na segunda etapa à semelhança da terceira etapa proposta por Ciampa et al. [51], realiza-se a inspeção. Nesta etapa é novamente feita uma confirmação das condições meteorológicas, preferencialmente no dia anterior ao levantamento. De seguida, já no dia planeado para a execução da inspeção é feito o registo das condições meteorológicas à hora da inspeção e uma *check-list* por forma a avaliar se o aparelho e os seus componentes se encontram em condições para efetuar o levantamento. Ainda nesta fase, durante o voo é feita uma verificação contínua do desempenho do aparelho, do cumprimento da linha de voo planeada e da qualidade dos dados recolhidos (foto ou vídeo).

Tabela 3.5 – Procedimentos para efetuar inspeção visual com drones [7].

	<i>Tópicos</i>	<i>Procedimentos</i>
<i>Preparação pré-voo</i>	Identificação dos proprietários	Recebimento do pedido de inspeção e recolha de informação sobre a construção
	Avaliação da zona de inspeção	Verificar as condições do local onde vai ser executada a inspeção. É necessário verificar e registar quaisquer obstáculos que possam por em risco o aparelho a quando da inspeção da construção.
	Aceitação da inspeção e respetivas autorizações	Aceitação da inspeção por parte dos operadores do aparelho e dos inspetores e recolha das respetivas autorizações por parte dos proprietários.
	Autorização da utilização do espaço aéreo	É realizado o pedido perante as entidades competentes para a utilização do espaço aéreo circundante à construção em análise.
	Calendarização do voo	Levando em consideração as melhores condições meteorológicas para o voo é escolhido o dia no qual o mesmo se irá realizar.
	Plano de voo	É concebido uma trajetória de voo tendo por base: <ul style="list-style-type: none"> • A construção a inspecionar; • O tempo de voo estimado levando em consideração a duração de uma bateria do aparelho em condições favoráveis;
<i>Execução do voo</i>	Confirmações de voo (1)	Confirmações efetuadas no dia anterior do voo, principalmente sobre os dados meteorológicos.
	Confirmações de voo (2)	No dia do levantamento deve ser feita uma nova consulta das condições climáticas por forma a avaliar se a inspeção poderá ser efetuada ou não.
	<i>Check-List</i> pré voo	Devem ser efetuadas verificações ao aparelho para verificar se este está em condições de realizar o levantamento. Devem também ser registadas as condições meteorológicas a quando do levantamento.
	Durante o voo	Deve ser feita uma verificação contínua do desempenho do aparelho, do cumprimento da linha de voo planeada e da qualidade dos dados recolhidos (foto ou vídeo).

3.4.4 – Parâmetros a ter em consideração

Por forma a entender como os drones podem ser uma ferramenta capaz de proporcionar inspeções de elevada qualidade a um custo e risco reduzido, é necessário perceber quais os parâmetros que importa ter em consideração a quando do mapeamento da envolvente de uma construção.

Idealmente o objetivo principal num levantamento com drone é obter a melhor qualidade possível dos dados recolhidos no menor espaço de tempo e em segurança e com custos inferiores. Assim, no que diz respeito ao resultado final da inspeção, pode-se afirmar que este depende essencialmente de dois parâmetros: parâmetros de qualidade

e parâmetros de eficiência [53]. Entendem-se por parâmetros de qualidade aqueles que estão diretamente ligados à qualidade dos dados recolhidos pelo drone, como fotos de alta resolução, captura de imagens termográficas ou vídeos de alta resolução, sendo essa qualidade dependente das características da câmara e da distância do aparelho ao objeto de estudo. Já os parâmetros de eficiência estão ligados ao tempo total de voo necessário para efetuar o registo e o tempo necessário para realizar o processamento dos dados obtidos.

Importa referir que a qualidade dos dados obtidos está diretamente relacionada com a eficiência do levantamento (Figura 3.9), sendo sempre necessário realizar um balanço dos diversos parâmetros em função do objetivo da inspeção.

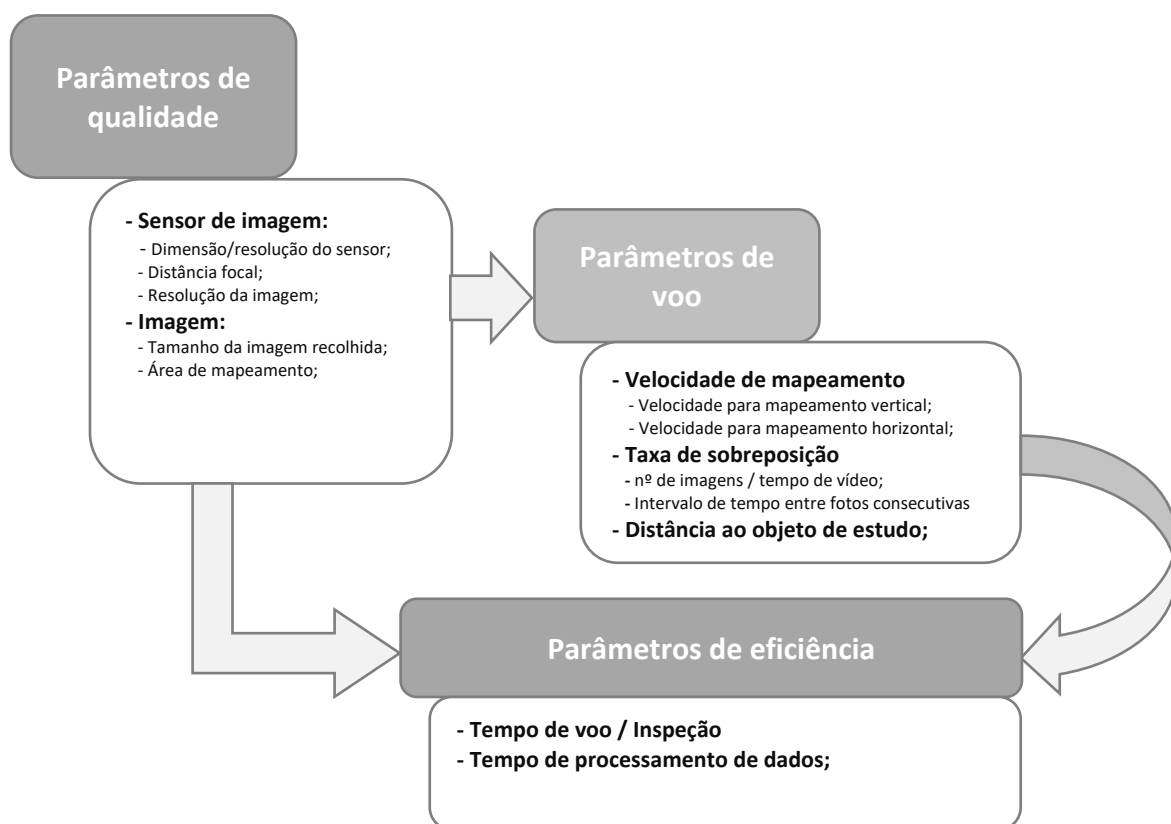


Figura 3.9 – Diferentes parâmetros a ter em consideração ao efetuar uma inspeção com drone (adaptado a partir de [53]).

3.4.4.1 – Distância ao objeto de estudo (DOE)

Uma das grandes áreas de aplicação dos drones é a topografia. A rapidez de recolha de dados aliada às tecnologias de processamento das imagens recolhidas por forma a obter uma nuvem de pontos tridimensional do terreno mapeado (fotogrametria), permite obter modelos extremamente precisos através dos quais é possível efetuar qualquer tipo de medição e produzir uma grande variedade de produtos cartográficos. Um dos aspetos

mais importantes a quando da formulação das especificações para a obtenção de modelos fotogramétricos através de drones é o *Ground Sample Distance (GSD)*.

O GSD é a unidade de área representada por cada pixel da imagem, ou seja, é a medida real de terreno que está representada em cada unidade elementar da imagem [54]. Em termos práticos, se um mapeamento for executado com um GSD de 1cm/pixel, isto significa que cada pixel da imagem vai representar 1cm de terreno (Figura 3.10). Quanto menor for o valor de GSD, maior irá ser o detalhe da imagem, o que em inspeções de construções é fundamental, pois se a imagem tiver um elevado nível de detalhe isto permite que sejam detetadas anomalias de pequena dimensão como fissuras.

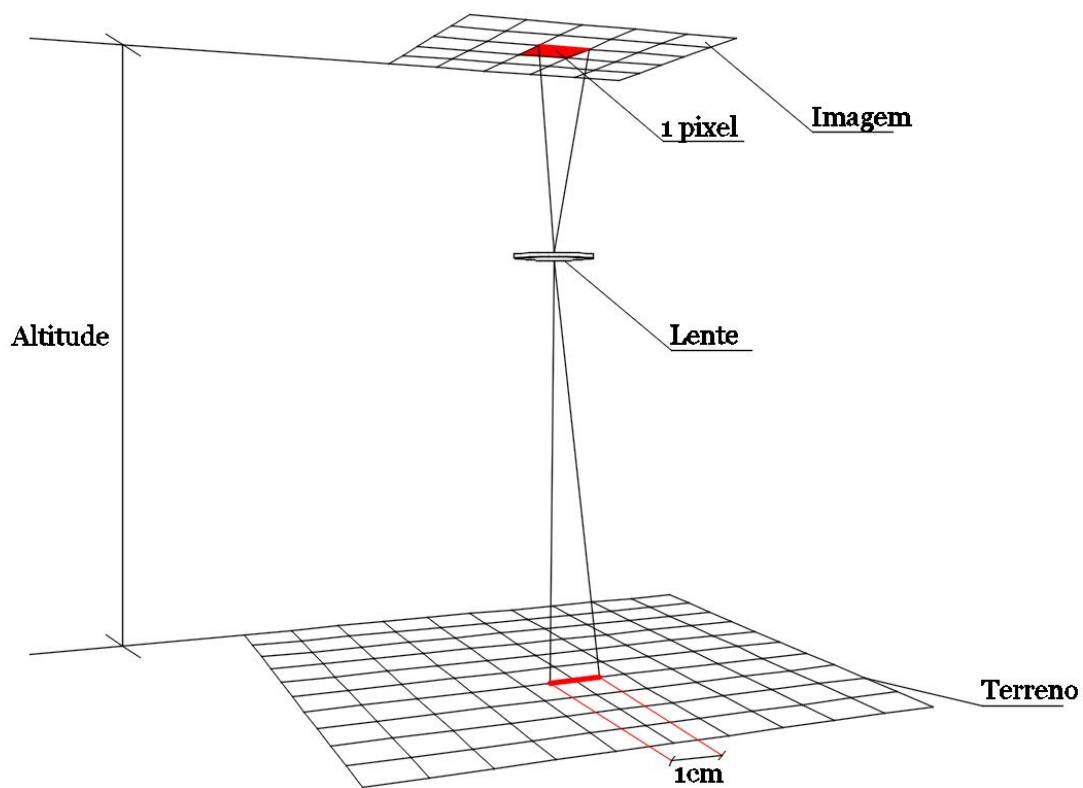


Figura 3.10 – Representação do GSD (*Ground Sample Distance*)

Uma vez que na inspeção de construções, geralmente o objeto de estudo não é o terreno, adaptou-se a nomenclatura deste parâmetro por forma a ser mais abrangente, tendo sido denominado de DOE (Distância ao Objeto de Estudo), no entanto a interpretação física é a mesma do GSD.

Em termos de cálculo, embora existam diversas formas de estimar o GSD [55], no âmbito deste trabalho, o DOE foi calculado através da Equação 2, que teve por base o princípio da semelhança de triângulos (Figura 3.11), quer para o comprimento da imagem (DOE_c) (Equação 1.1), quer para a largura (DOE_L) (Equação 1.2), sendo que o DOE a considerar

é o mais desfavorável entre os dois, ou seja o maior valor obtido. Para a formulação das equações 1.1 e 1.2 foram consideradas as seguintes variáveis:

- D_F – Distância focal (m);
- D_O – Distância ao objeto de estudo (m);
- L_S – Largura do sensor (mm);
- C_S – Comprimento do sensor (mm);
- L_I – Largura da imagem (pixel);
- C_I – Comprimento da imagem (pixel);

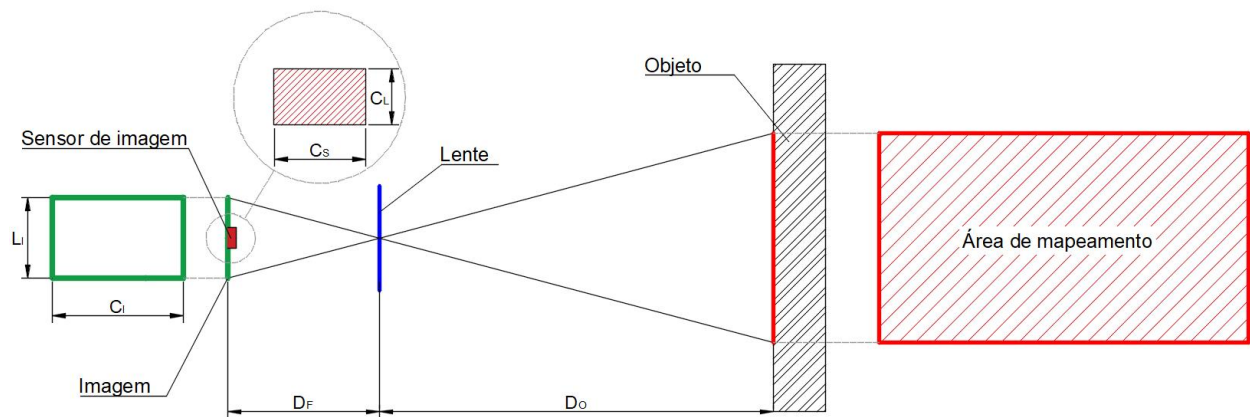


Figura 3.11 – Representação das variáveis de cálculo do DOE (Distância ao Objeto de Estudo).

$$DOE_C = \frac{D_O \times C_S \times 100}{D_F \times C_I} \quad (1.1)$$

$$DOE_L = \frac{D_O \times L_S \times 100}{D_F \times L_I} \quad (1.2)$$

3.4.4.2 – Sensor de imagem

O sensor de imagem é o componente localizado na parte posterior da lente da câmera e tem como função captar e converter fótons (luz) em elétrons (sinais elétricos) que permitem a captura de imagens e vídeos [56]. Recolher informação sobre o sensor é importante pois esta irá servir para calcular o DOE. A informação que deve ser recolhida sobre o sensor é a sua dimensão física (comprimento e largura) e o *crop factor* (CF), que é a relação entre a diagonal do sensor e a diagonal equivalente a um *full-frame*, que nada mais é que a diagonal equivalente a um sensor de 35mm, que dentro da comunidade da

fotografia é considerado um “tamanho padrão” . Esta informação é tipicamente facultada pelos fabricantes do aparelho.

3.4.4.3 – Distância focal

Outro dado importante para o cálculo do DOE é a distância focal (D_F), que nada mais é que a distância entre o centro ótico da lente da câmara e o sensor de imagem (Figura 3.11) [57].

Geralmente a distância focal fornecida pelos fabricantes, à semelhança do tamanho do sensor de imagem, é a distância focal equivalente a 35mm (D_{F35}), no entanto essa distância não pode ser utilizada no cálculo do DOE, visto que é necessário saber a distância focal real e não a equivalente. No entanto a distância focal real pode ser simplesmente calculada através da divisão da distância focal equivalente a 35mm pelo *crop-factor* (Equação 2) [57].

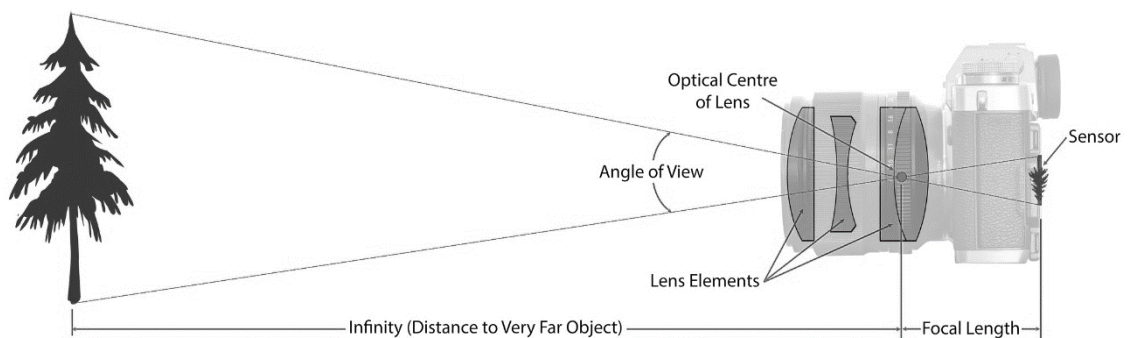


Figura 3.11 – Representação da definição de distância focal [57].

$$D_F = \frac{D_{F35}}{CF} \quad (2)$$

3.4.4.4 – Tamanho da imagem e área de mapeamento

O tamanho da imagem, tal como o próprio nome indica, é o comprimento da imagem (C_I) e a largura da imagem (L_I), medidos em megapixéis. Com estas dimensões é possível calcular a área mapeada real por cada foto (Equação 3) simplesmente multiplicando a dimensão real de cada pixel (DOE) pelo comprimento e largura da imagem, como mostra a figura 3.10.

$$A = \left(\frac{OSD_C \times C_I}{100}\right) \times \left(\frac{OSD_L \times L_I}{100}\right) \quad (3)$$

3.4.4.5 – Taxa de sobreposição e velocidade de mapeamento

Tal como o GSD, a taxa de sobreposição é uma propriedade geralmente utilizada em mapeamentos aéreos para fins cartográficos. Esta representa, em percentagem, o quanto duas imagens consecutivas se sobrepõem (Figura 3.12). Quanto maior esta taxa de sobreposição, maior será a acurácia do mapeamento efetuado, pois existiram mais pontos em comum entre as duas imagens a quando da modelação da nuvem de pontos.

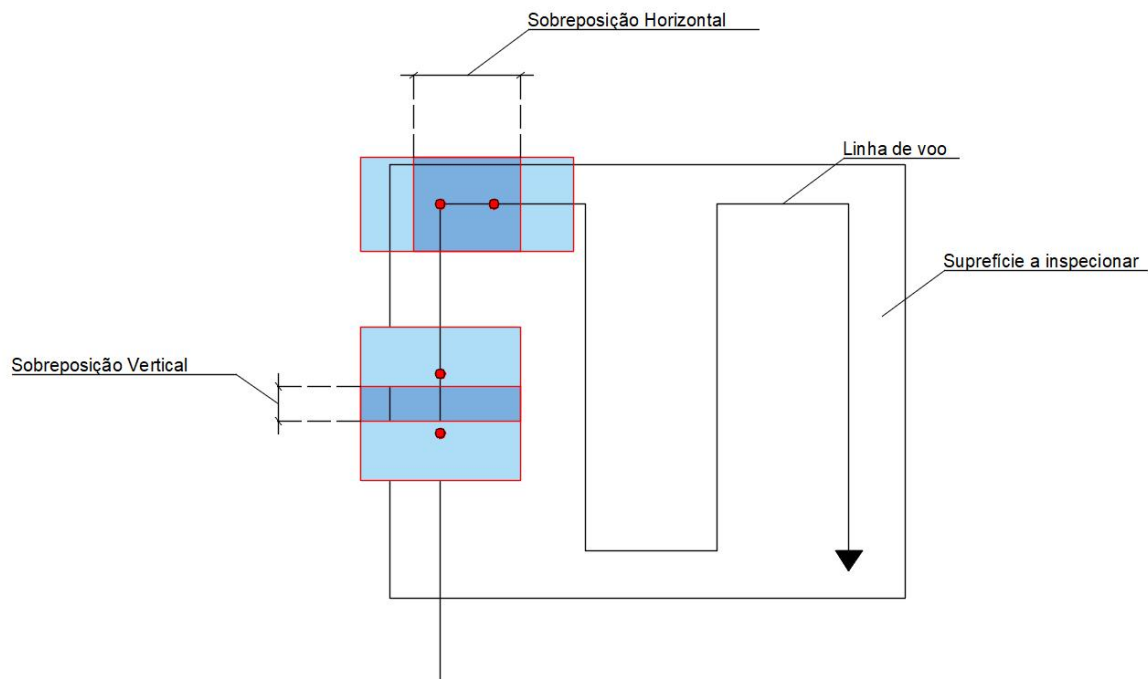


Figura 3.12 – Representação da taxa de sobreposição horizontal e vertical.

Na inspeção de construções este parâmetro também tem a sua importância no sentido em que se for considerada uma taxa de sobreposição elevada (entre 80% a 90%) garante-se que toda a envolvente da construção é devidamente observada e registada.

Tendo definida a taxa de sobreposição, o intervalo de tempo entre registos consecutivos e sabendo o comprimento e a largura real da área mapeada (Equação 3), é possível calcular qual a velocidade ótima vertical (Equação 4.1) e horizontal (Equação 4.2) do aparelho a quando do mapeamento.

$$Vv = \frac{(1-T_S) \times \left(\frac{OSD_L \times L_I}{100} \right)}{T_F} \quad (4.1)$$

$$Vh = \frac{(1-T_S) \times \left(\frac{OSD_C \times C_I}{100} \right)}{T_F} \quad (4.2)$$

Onde:

- V_V – Velocidade vertical (m/s);
- V_h – Velocidade horizontal (m/s);
- T_F – Intervalo de tempo entre cada foto (s);
- T_S – Taxa de sobreposição (%);

3.5 Condicionantes e recomendações de utilização

A principal condicionante do uso de drones para a inspeção de construções são as condições climáticas. Sendo um tipo de aeronave, estes aparelhos são sensíveis a condições climáticas adversas, sendo por isso necessário controlar as mesmas antes de qualquer voo. Os principais fatores meteorológicos a ter em consideração são:

- Velocidade do vento – A velocidade média das rajadas de vento nunca deve ser superior às recomendadas pelo fabricante do drone, principalmente no caso da inspeção de construções, uma vez que a proximidade com a envolvente da construção é elevada e qualquer desvio causado pelo vento pode projetar o drone contra a construção;
- Distância de visibilidade – Durante toda a inspeção é importante, sempre que possível, manter contato visual com o drone e por isso as condições de visibilidade têm que ser favoráveis, sendo que de preferência se devem realizar as inspeções sem presença de nevoeiro e com visibilidade suficiente, planeando previamente o quanto o drone se irá afastar do operador e se existiram condições para manter o contato visual a essa distância;
- Precipitação – Embora existam hoje em dia drones mais robustos e capazes de voar com chuva, tal não é aconselhável uma vez que estes aparelhos são compostos essencialmente por componentes eletrónicos muito sensíveis à água e qualquer infiltração nestes componentes pode causar avarias, pondo em causa o bom funcionamento do drone;
- Temperatura – Tipicamente os drones não respondem bem a temperaturas extremas. Temperaturas elevadas podem causar o sobreaquecimento das baterias e do aparelho, resultando numa redução da eficácia do mesmo. Temperaturas baixas a resposta do aparelho ao controlo remoto pode ser afetada diminuindo o tempo de reação do mesmo.

Embora as condições meteorológicas sejam as principais condicionantes da realização de voos com drones, existem outras condicionantes e desvantagens (Tabela 3.6) que devem ser acauteladas a quando da realização de uma inspeção com estes aparelhos.

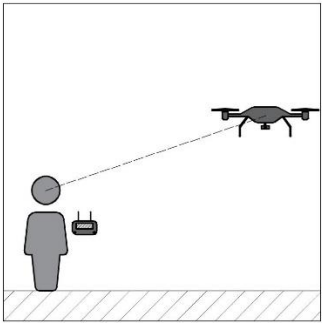
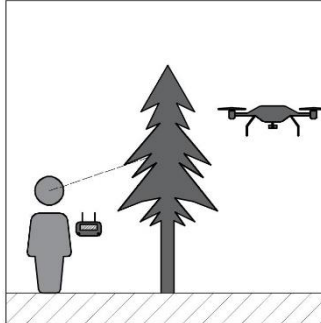
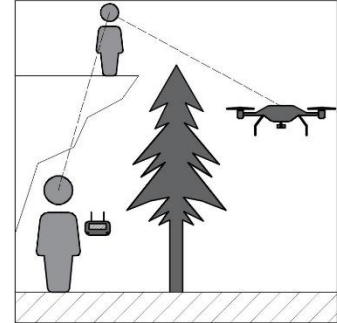
Tabela 3.6 – Condicionantes de utilização de drones em inspeções visuais (Adaptado a partir de [7]).

Condicionantes de utilização	
Carga	<ul style="list-style-type: none"> Os drones são muito sensíveis ao tipo de carga que podem transportar devido ao peso que estes suportam, dificultando o acoplamento de outros tipos de instrumentos de auxílio na inspeção; Além do peso, o próprio <i>software</i> do drone muitas vezes é apenas compatível com um determinado tipo de câmara, dificultando o uso de outros instrumentos;
Baterias	<ul style="list-style-type: none"> Embora os drones apresentem ser aparelhos capazes de efetuar trabalhos de forma rápida, a duração das baterias continua a ser um problema, visto estas terem um tempo de descarga em média de 25min, dependendo do tipo de aparelho, o que implica muitas vezes suspender o trabalho de inspeção para repor ou carregar as mesmas; Este curto tempo de duração das baterias correntes no mercado também limita a distância e altitude a que o drone se pode afastar do seu ponto de decolagem, podendo ser uma condicionante para inspeções mais extensas como pontes ou de maior altitude como em construções com altura superior a 50m.
Limitações tecnológicas e da envolvente	<ul style="list-style-type: none"> Os drones dependem da conexão GPS/GLONASS para manter uma posição estável a quando do voo, o que em locais muito remotos e com fraco sinal pode ser um problema, visto que sem o sistema de GPS/GLONASS os drones ficam sujeitos apenas a voar com os seus sensores (caso tenham), que na maior parte dos aparelhos disponíveis no mercado apenas permitem atingir uma altitude de cerca de 10m; Os drones são sensíveis a campos eletromagnéticos, pelo que ao sobrevoar zonas com presença de cabos de telecomunicações ou de energia elétrica é necessário ter sempre em atenção o comportamento do aparelho;
Regulamentação	<ul style="list-style-type: none"> Dependendo do tipo de drone e do país onde se realiza o voo, existem algumas condicionantes que devem ser tidas em consideração: <ul style="list-style-type: none"> Alguns países não permitem a realização de voos completamente autónomos; Dependendo do peso do drone pode ser necessário realizar um seguro de responsabilidade civil; Na maior parte dos países existem zonas onde é proibida a utilização de drones, ou zonas que carecem de autorização prévia por parte das entidades reguladoras do espaço aéreo; No que diz respeito à política de utilização de dados por parte dos fabricantes ainda é um assunto que se discute atualmente, sendo que em grande parte das aeronaves as informações e dados recolhidos não são cem por cento propriedade do utilizador;

Além de conhecer as condicionantes de operação de drones é importante também perceber que existem três tipos de voo com drone, consoante o contato visual com o mesmo por parte do operador (Tabela 3.6), VLOS do inglês *Visual Line of Sight* que significa dentro do campo de visão, BVLOS do inglês *Beyond Visual Line of Sight* que significa além do campo de visão e EVLOS do inglês *Extended Visual Line of Sight* que significa campo de visão estendido [54].

No âmbito das inspeções de construções com drone recomenda-se que seja efetuado o voo em VLOS sempre que possível devido à proximidade com a envolvente da construção. Na grande maioria dos países apenas são permitidos voos em VLOS.

Tabela 3.7 – Tipos de operação com drone (adaptado a partir de [54]).

<i>Tipos de operação com drone</i>		
VLOS	BVLOS	EVLOS
Operação na qual o operador mantém sempre contacto visual com o drone durante todo o voo;	Operação na qual o operador não tem contacto visual com o drone, mesmo com a ajuda de um observador ou de meios visuais alternativos;	Operação na qual o controlador apenas tem contacto visual com o aparelho através de equipamentos auxiliares e necessita de auxílio de observadores;
		

3.6 Notas finais

A inspeção visual é o primeiro passo para garantir o bom estado de conservação de uma construção, sendo através dela que se detetam, na maior parte dos casos, os primeiros sinais de degradação.

Tradicionalmente a inspeção visual é efetuada recorrendo a estruturas auxiliares ou equipamentos e veículos especiais, que além de terem um custo de utilização considerável, podem apresentar um risco para quem os utiliza, além de que, com estes meios muitas vezes não é possível realizar a inspeção em zonas de difícil acesso como por exemplo na parte inferior do tabuleiro da uma ponte. Devido a estas condicionantes as inspeções visuais são muitas vezes colocadas para segundo plano, acabando por não ser efetuadas tão frequentemente quanto deveriam.

É em grande parte devido à necessidade de realizar inspeções visuais a construções de difícil acesso de uma forma mais segura, económica e eficaz, que os drones têm vindo a ganhar cada vez mais importância, sendo capazes de recolher dados de alta qualidade como vídeos e fotos de alta resolução e registos termográficos do elemento analisado, podendo com eles observar anomalias que poderiam passar despercebidas ao olho humano.

Sendo estes aparelhos compostos por tecnologia de ponta, importa ter em consideração todas as condicionantes da utilização dos mesmos por forma a evitar qualquer acidente ou risco que possa por em causa a segurança das pessoas, da construção ou do aparelho.

Capítulo 4

4. Guião prático para inspeção visual com recurso a drones

4.1 Motivação

No relatório divulgado pelo o *Joint Research Centre, the European Commission's science and knowledge service* [18], mencionado no capítulo 2, uma das conclusões retiradas foi que existe uma certa acomodação tecnológica e que pouco progresso é feito em busca de novas tecnologias de inspeção. No entanto, o mesmo também pode significar que a tecnologia vastamente utilizada para uma situação em específico ainda não foi suficientemente amadurecida para que possa ser aplicada em outros tipos de inspeção. O mesmo se pode concluir em relação aos drones, sendo que estes têm sido utilizados cada vez mais na inspeção de construções, no entanto a utilização dos mesmos nesta vertente ainda não está suficientemente amadurecida.

Devido à inexistência de regulamentação específica que imponha regras e critérios de utilização destes aparelhos em inspeções, muitas vezes os resultados obtidos não são os esperados, acabando por não ir de encontro ao real propósito da inspeção. Na grande maioria dos casos os operados do aparelho não têm qualquer ligação com a área da engenharia civil e quando solicitados para efetuar uma inspeção a uma construção, estes acabam por não focar nos aspetos fundamentais a inspecionar. Tal situação deve-se essencialmente à falta de acompanhamento de um profissional especializado na área da engenharia civil a quando da inspeção ou por falta de uma preparação detalhada sobre a inspeção a realizar com o aparelho.

É por forma a tornar as inspeções de construções com drones mais eficazes e garantir que os dados obtidos vão de encontro ao real propósito da inspeção, que se desenvolveu no âmbito desta dissertação um guião prático de utilização de drones na inspeção técnica de construções. Este guião tem como objetivo compilar toda a informação considerada relevante para a inspeção e preparar previamente a mesma através da definição de aspetos que devem ser tidos em conta antes de realizar o voo. Pretende-se que este guião sirva não só de ferramenta de preparação para o técnico que irá controlar o drone, mas também para organizar os dados obtidos da mesma por forma a elaborar um relatório final detalhado e que incida sobre os objetivos principais da inspeção.

4.2 Legislação e regulamentação aplicável

Os avanços efetuados nos últimos anos no que diz respeito à tecnologia disponível nos drones aliada ao crescente número de mercados onde estes aparelhos têm mostrado utilidade conduziram ao surgimento de desafios para as autoridades de aviação, especialmente no que diz respeito à privacidade, proteção de dados e segurança pública. Por forma a minimizar os riscos inerentes ao uso de drones nas mais diversas áreas, cada vez mais países têm introduzido leis e regulamentações que indicam como e em que circunstâncias se deve operar os drones [58].

As abordagens seguidas na elaboração de regulamentação do uso de drones em cada país normalmente tem por base os contextos internacionais, seguindo os desenvolvimentos efetuados nos principais mercados que geralmente são os Estados Unidos da América e a Europa, complementando sempre com a situação regulamentar de cada país [7].

4.2.1 – Regulamentação em Portugal

A Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), é a entidade responsável pela regulação, fiscalização e supervisão do setor da aviação civil e rege-se de acordo com o disposto no direito internacional e europeu [59]. Em Portugal existe o Regulamento nº 1093/2016, elaborado pela ANAC que especifica regras e recomendações para o uso destes aparelhos em território nacional. Por forma a complementar as regras impostas no regulamento, existe também o Decreto-Lei nº58/2018 que estabelece um sistema de registo e, em situações específicas, a obrigatoriedade de seguro de responsabilidade civil aplicado a drones bem como um conjunto de sanções aplicáveis.

Na tabela 4.1 estão resumidos os principais aspetos da regulamentação aplicável em território nacional.

Tabela 4.1 – Principais aspetos da regulamentação aplicável em Portugal [7].

<i>Regulamentação</i>	<i>Principais aspetos</i>
Regulamento nº 1093/2016	<ul style="list-style-type: none">• Define drones que não estejam equipados com motores de combustão e com um peso operacional inferior a 0.250 kg como “aeronaves brinquedo”;• Carece de autorização por parte da ANAC qualquer operação com drones que tenham um peso operacional superior a 25kg;• Apenas se podem realizar voos diurnos em operações VLOS até 120m de altura, com exceção das aeronaves brinquedo que não devem voar a mais de 30m;• Os drones não podem sobrevoar as zonas referidas no anexo do regulamento;• Os drones não podem sobrevoar concentrações de mais de 12 pessoas;

Tabela 4.1 – Principais aspetos da regulamentação aplicável em Portugal [7]. (cont.)

<p><i>Decreto-Lei n.º 58/2018</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Obrigatório o registo do operador do drone caso a massa operacional do aparelho exceda os 0.250 kg;</i> • <i>O drone apenas pode ser controlado por um operador devidamente registado na ANAC;</i> • <i>Caso a massa operacional do aparelho exceda os 0.900 kg é necessário obter um seguro de responsabilidade civil;</i> • <i>É estabelecido um regime de sanções que se aplicam no caso de não-cumprimento das regras impostas no regulamento;</i>
-------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Além da regulamentação elaborada pela ANAC, é importante referir que existem outras identidades que podem ter impacto no uso de drones, especialmente em zonas restritas. A ANAC, no regulamento referido anteriormente, especifica quais as zonas onde é completamente restrito o voo de drones sem autorização prévia, nomeadamente:

- Aeroporto Francisco Sá Carneiro (Porto);
- Aeroporto Humberto Delgado (Lisboa);
- Aeródromo de Cascais;
- Aeroporto de Faro;
- Aeroporto da Madeira;
- Aeroporto de Porto Santo;
- Aeroporto João Paulo II (Ponta Delgada);
- Aeroporto de Santa Maria;
- Aeroporto da Horta;
- Aeroporto das Flores;
- Em zonas de sinistro onde se encontrem a decorrer operações de salvamento e socorro;
- Heliportos sob gestão, comando ou responsabilidade de entidades públicas às quais estejam cometidas funções de ordem de manutenção da ordem pública, segurança, fiscalização e investigação criminal;
- Heliportos hospitalares utilizados exclusivamente em missões de emergência médica;

Além das áreas referidas no regulamento, importa salientar que existem áreas em território nacional que carecem de autorização por parte do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas, que gere todas as reservas naturais em território nacional.

4.2.2 – Regulamentação e legislação no resto do mundo

Tal como se pode observar na figura 4.1, em 2016, cerca de um terço de todos os países tinham regulamentação para o uso de drones. No entanto, cerca de metade dos países não indica qualquer informação sobre o uso de drones para fins civis. Tal não implica que o voo de drones no contexto de utilização civil seja proibido, apenas não é feita qualquer referência na legislação. Alguns países como Cuba, Egipto e Uzbequistão não autorizam de todo o uso de drones por parte da população, sendo estes restringidos apenas para uso militar [58].

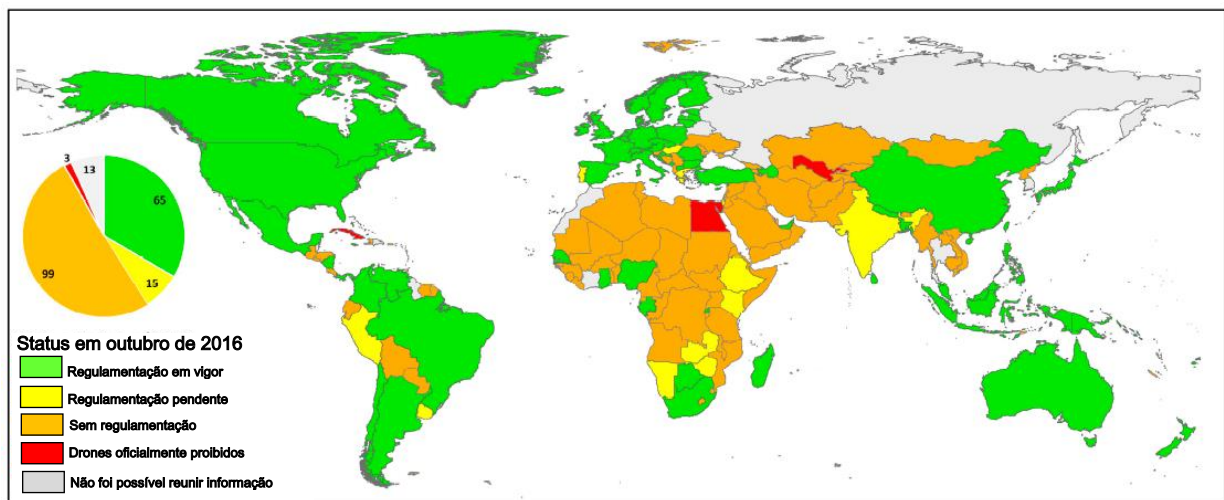


Figura 4.1 – Visão global do estado de implementação de regulamentação nos diversos países em 2016 (adaptado a partir de [58]).

Num relatório desenvolvido pela PwC, no qual foram comparados os regulamentos de 15 países deferentes, tendo por base diferentes aspetos regulamentares como o uso de drones para fins comerciais, a necessidade de licença de voo para controlar o drone, a possibilidade de realizar voos em BVLOS, seguros, formação de controladores, etc. Conclui-se que existe falta de regulamentação específica para o uso de drones para fins comerciais que garanta um contexto empresarial legal e saudável [7].

Por forma a ter uma melhor perceção dos aspetos mais abordados e menos abordados num panorama global das regulamentações do uso de drones, na tabela 4.2 foram resumidos os principais aspetos regulamentares e associados a cada país.

Tabela 4.2 – Comparação dos principais aspetos regulamentares entre alguns países [58].

<i>Principais aspetos regulamentares</i>							
Países	Limites de peso	Altitude máxima	Distância em VLOS	BVLOS	Certificado de operação	Registo	Qualificação dos controladores
Estados Unidos	0,25/25/150 kg	122 m	Permitido EVLOS	Necessita aprovação	>25 kg	Número de registo	Certificado de competência
Canadá	2/25 kg	90 m	n/a	n/a	>25 kg	n/a	Certificado de competência
França	2/8/150 kg	150 m	100 m/ 200 m/ EVLOS	n/a	Apenas para voos específicos	Depende do tipo de voo	Certificado para <25kg e licença para >25kg
Espanha	2/25/150 kg	120 m	500 m para 2-25 kg	Necessita aprovação para >2 kg	Autorização de voo e notificação à NOTAM	Registo e placa com o ID	Depende do tipo de voo
Alemanha	10/25 kg	100 m	n/a	Necessita aprovação	>10-25 kg	n/a	Certificado de competência
Africa do Sul	7/20 kg	122 m	Permitido EVLOS	Necessita aprovação	Carta de aprovação e licença de voo	Marcas de registo	Licença
Nigéria	n/a	n/a	n/a	n/a	Autorização de voo	n/a	Licença
Japão	n/a	150 m	n/a	n/a	Apenas para áreas restritas	n/a	n/a
China	7 kg	n/a	n/a	n/a	Autorização e certificado de voo	Necessita de registo	Certificado

4.3 Estrutura do guião prático proposto

Como referido anteriormente, o guião prático proposto tem como objetivo servir de ferramenta de apoio tanto para a preparação da inspeção com drone como para o registo e tratamento dos dados obtidos. O guião proposto é constituído por sete etapas principais dados Iniciais, recomendações, informação sobre a construção, informação sobre o aparelho, Plano de voo, levantamento e registo e por fim, processamento de dados.

Na figura 4.2 apresenta-se a estrutura geral do guião proposto.

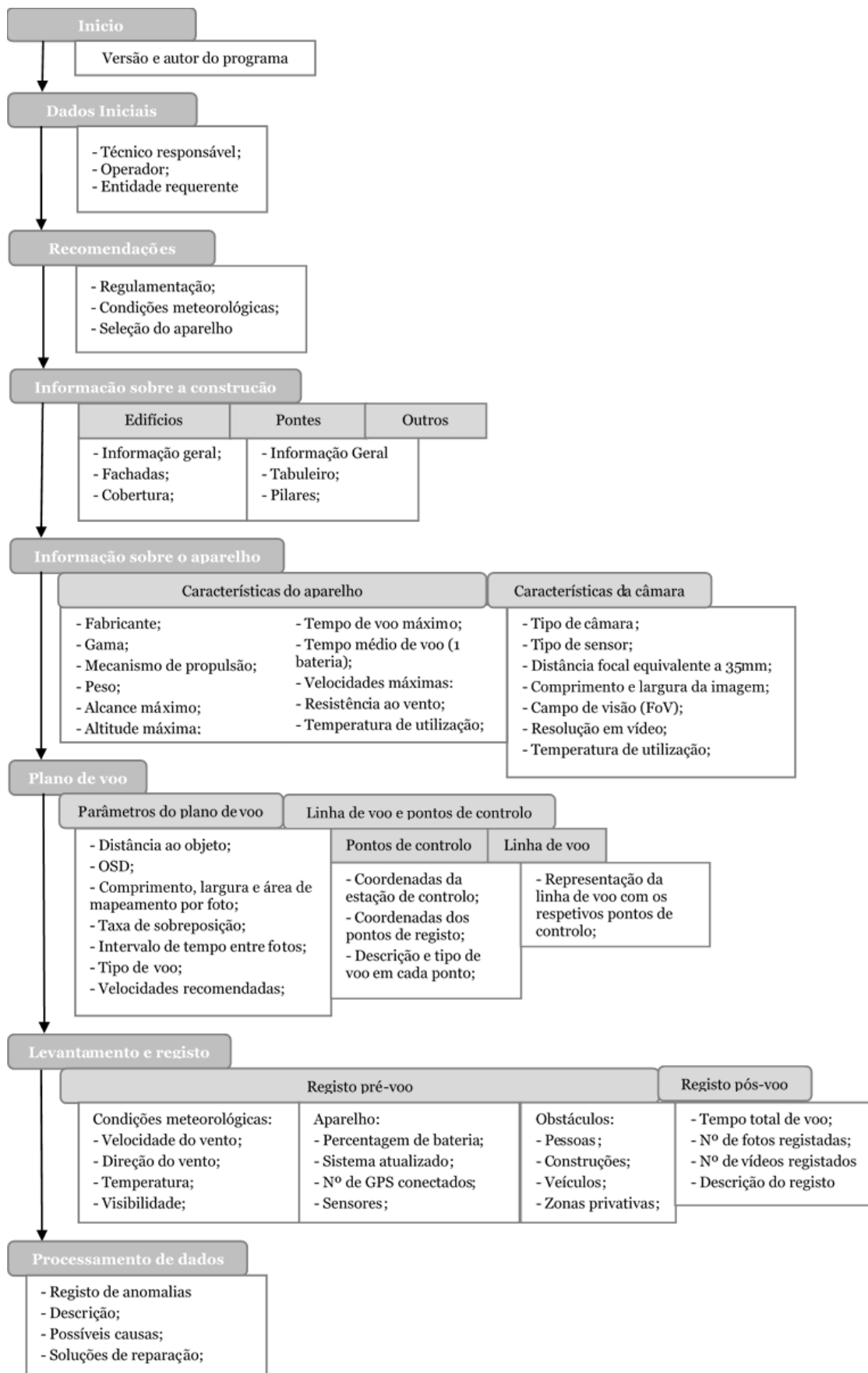


Figura 4.2 – Estruturação do guião prático para inspeção visual com recurso a drones.

4.3.1 – Dados iniciais

Na primeira etapa do preenchimento do guião prático é solicitada informação sobre o técnico responsável pela inspeção, o operador do aparelho de voo e a entidade requerente (Figura 4.3). A informação recolhida neste campo serve para identificar os intervenientes na inspeção da construção.

The screenshot shows a web-based form titled "Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone" with a sub-header "Dados Iniciais". On the left, there is a vertical sidebar with icons for "Guardar", "Início", and "Guia de utilização". The main form area has three tabs: "Técnico responsável", "Operador", and "Entidade Requerente", with the first tab selected. Below the tabs are several input fields: "Nome", "Morada Técnica", "Localidade", "Código Postal", "Telefone", "Telemóvel", "Email", and "Especialidade". A "Data" field is pre-filled with "02/09/2020". At the bottom of the form, there are two buttons: "Anterior" and "Próximo".

Figura 4.3 – Guião prático - Dados iniciais sobre o técnico responsável, operador e entidade requerente.

4.3.2 – Recomendações

Nesta etapa são apresentadas informações importantes ao utilizador, nomeadamente sobre a regulamentação aplicável, as condições meteorológicas e sobre os principais aspetos a ter em conta a quando da seleção do aparelho para efetuar a inspeção (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6).

The screenshot shows a web-based page titled "Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone" with a sub-header "Recomendações". On the left, there is a vertical sidebar with icons for "Guardar", "Início", and "Guia de utilização". The main content area has several tabs: "Recomendações", "Informação sobre a construção", "Informação sobre o aparelho", "Plano de voo", "Levantamento e registo", and "Processamento de dados", with the first tab selected. Below the tabs, there is a section titled "Principais aspetos regulamentares para inspeções com drones" which includes sub-sections for "Regulamento nº 1093/2016", "Decreto-Lei nº 58/2018", and "Voos sujeitos a autorização da ANAC". There is also a "Links Úteis" section and contact information for ANAC. At the bottom of the page, there are two buttons: "Anterior" and "Próximo".

Figura 4.4 – Guião prático - Informação fornecida sobre a regulamentação aplicável.

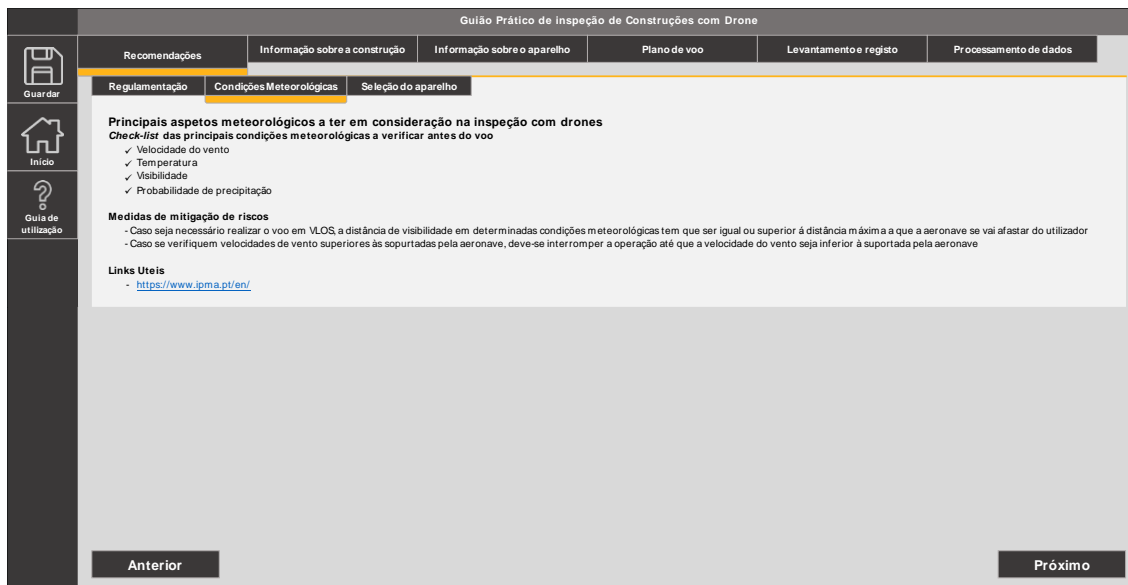


Figura 4.5 – Guia prático - Informação fornecida sobre as condições meteorológicas.

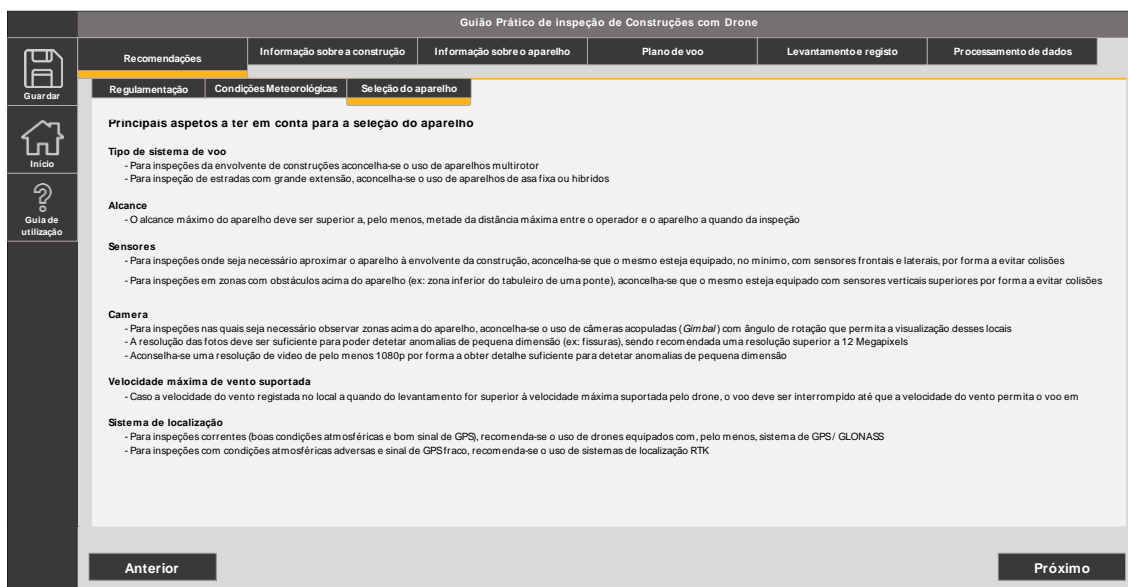


Figura 4.6 – Guia prático - Informação fornecida sobre a seleção do aparelho.

São também fornecidos alguns *links* úteis onde pode ser consultada mais informação e obter os formulários de autorização das diferentes entidades reguladoras.

4.3.3 – Informação sobre a construção

Nesta etapa é solicitado ao utilizador que selecione o tipo de construção a inspecionar (Figura 4.7). Foram considerados três tipos de construções, edifícios, pontes e outras. Esta categorização teve por base o facto de os edifícios no geral e pontes serem o tipo de construções onde o recurso a drones pode ter maior vantagem, devido a estas geralmente apresentarem maiores dificuldades de acesso a toda a sua envolvente.

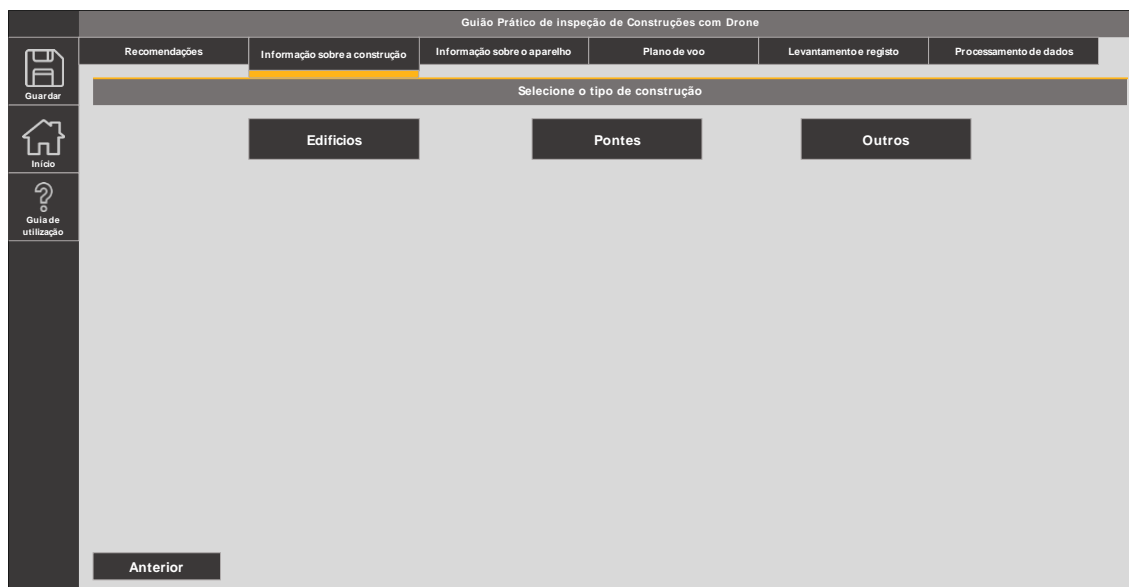


Figura 4.7 – Guião prático - Solicitação do tipo de construção a inspecionar.

4.3.3.1 – Edifícios

Para os edifícios é solicitada alguma informação geral por forma a enquadrar o mesmo, quer em contexto territorial quer em contexto legal. Para tal são solicitadas as seguintes informações:

- Tipologia do edifício – Edifícios residenciais, comerciais, escolares, hospitalares e outros;
- Descrição do edifício – Devem ser apresentados aspetos considerados importantes relativamente ao edifício que não estejam contemplados nos outros campos de preenchimento;
- Área de implantação;
- Cércea – no caso de o edifício ultrapassar a altitude máxima permitida por lei é necessário requerer autorização prévia por parte da entidade reguladora do espaço aéreo;
- Localização do edifício;
- Data de início de utilização – a idade do edifício é calculada automaticamente tendo por base a data fornecida e a data da inspeção;
- Indicar se o edifício se encontra em funcionamento ou não – é importante caso seja necessário ter em conta a existência de aglomerados de pessoas no local, podendo ser conveniente ter um seguro de responsabilidade civil;

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Edifícios

Tipologia do edifício: Comercial

Descrição do edifício: _____

Área de implantação: _____ Cêrcea: 3,00 m

Localização: _____ Localidade: _____

Data de início de utilização: _____ Idade do edifício: _____ Edifício em funcionamento: Sim

[55 / mm / aaaa]

Documentos do edifício

Anterior

Próximo

Figura 4.8 – Guião prático - Informação sobre o edifício.

Após inseridas as informações iniciais sobre o edifício (Figura 4.8) é dada a opção de inserir informação sobre as fachadas do mesmo (Figura 4.9). Apenas se consideraram os aspetos principais a ter em conta a quando do diagnóstico de eventuais anomalias presentes na envolvente do edifício, tal não invalida que sejam considerados outros aspetos que possam ser relevantes para perceber a origem de determinada patologia. Os aspetos considerados foram a área da fachada, por forma a perceber a dimensão da área afetada, a orientação da fachada por forma a perceber a que condições climatéricas e ambientais a que esta está exposta e o tipo de revestimento, claramente importante por forma a perceber como pode ter surgido a anomalia registada.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Edifícios

Tipologia do edifício: Comercial

Descrição do edifício: 0

Área de implantação: 0,00 m² Cêrcea: 3,00 m

Localização: 0 Localidade: 0

Data de início de utilização: 00/01/1900 Idade do edifício: 120 anos Edifício em funcionamento: Sim

[55 / mm / aaaa]

Documentos do edifício

Fachadas | Cobertura

Fachadas

Numero de fachadas: 6

Fachada	Área	Orientação	Tipo de revestimento
Fachada 1 -			ETICS
Fachada 2 -			
Fachada 3 -			
Fachada 4 -			
Fachada 5 -			
Fachada 6 -			

Anterior

Próximo

Figura 4.9 – Guião prático – Informação sobre as fachadas.

De seguida é fornecida a opção de introduzir informação sobre a cobertura, nomeadamente a área, a sua tipologia, plana ou inclinada e o tipo de revestimento da mesma.

The screenshot shows the 'Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone' interface. The main menu includes 'Recomendações', 'Informação sobre a construção', 'Informação sobre o aparelho', 'Plano de voo', 'Levantamento e registo', and 'Processamento de dados'. The 'Informação sobre a construção' tab is active, showing the 'Edifícios' section. Fields include: 'Tipologia do edifício' (Escolar), 'Descrição do edifício' (0), 'Área de implantação' (0,00 m²), 'Cerca' (3,00 m), 'Localização' (0), 'Localidade' (0), 'Data de início de utilização' (dd/mm/aaaa), 'Idade do edifício' (---), and 'Edifício em funcionamento' (Sim). The 'Cobertura' sub-tab is selected, showing a table for recording roof details. The table has columns for 'Cobertura' (1-4), 'Área', 'Tipologia', and 'Tipo de revestimento'. The 'Fachadas' sub-tab is also visible, showing a field for the number of facades (4).

Figura 4.10 – Guião prático - Informação sobre a cobertura.

Tal como nas fachadas, aqui também se consideraram os principais aspetos a observar numa cobertura por forma a conseguir identificar e diagnosticar de forma corretas as patologias existentes.

4.3.3.2 – Pontes

À semelhança dos edifícios, também nesta página se começa por inserir dados iniciais sobre a ponte a inspecionar (Figura 4.11), sendo solicitado as seguintes informações:

- Descrição da ponte;
- Tipologia estrutural – Em viga, suspensa, em arco ou outra;
- Indicar se existem elementos pré-esforçados ou não;
- Tipo de utilização – Rodoviária, ferroviária, pedonal ou outra;
- Localização – Solicitada a indicação do quilómetro inicial e final, no caso de pontes rodoviárias solicita-se a indicação da estrada onde se insere ou linha no caso de pontes ferroviárias;
- Data de início de utilização do mesmo – a idade do edifício é calculada automaticamente tendo por base a data fornecida e a data a quando da inspeção;
- Indicar se a ponte se encontra em funcionamento ou não –pode ser necessário impedir o tráfego de veículos ou pessoas por forma a realizar os trabalhos de inspeção de forma segura.

Guia Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Pontes

Descrição da ponte

Tipologia estrutural Pré-esforço Não Indique qual a tipologia estrutural

Utilização

Localização Linha Km início Km fim

Data de início da utilização Idade da construção Ponte em funcionamento Sim **Documentos da construção**

Anterior Próximo

Figura 4.11 – Guia prático - Informação inicial sobre a ponte.

Após inseridas as informações iniciais sobre a ponte, são solicitadas informações sobre o tabuleiro da ponte que se consideram importantes para a posterior análise das patologias existentes (Figura 4.12), nomeadamente:

- Material estrutural – Aço, betão, estrutura mista ou outro;
- Extensão do tabuleiro – importante para a definição do plano de voo;
- Largura do tabuleiro;
- Número de vias de circulação;
- Material de pavimentação;
- Existência ou não de sistema de drenagem funcional e indicação de que tipo de sistema se trata;

Guia Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Pontes

Descrição da ponte

Tipologia estrutural Pré-esforço Não Indique qual a tipologia estrutural

Utilização

Localização Linha Km início Km fim

Data de início da utilização Idade da construção Ponte em funcionamento Sim **Documentos da construção**

Tabuleiro | Pilares

Material estrutural

Extensão Largura do tabuleiro Número de vias de circulação Material de pavimentação

Sistema de drenagem Sim Indique qual o sistema de drenagem

Anterior Próximo

Figura 4.12 – Guia prático – Informações sobre o tabuleiro.

De seguida, tal como se pode observar na figura 4.13, é solicitada informação sobre os pilares da ponte, nomeadamente:

- Altura dos pilares;
- Tipo de seção e respetivas dimensões;
- Material estrutural – Betão, aço, alvenaria, madeira ou outro;
- Material de revestimento – Pedra ou o próprio material estrutural;

The screenshot shows the 'Pontes' (Bridges) section of the software. It features a sidebar on the left with icons for 'Guardar' (Save), 'Início' (Home), and 'Guião de utilização' (Manual). The main interface has a top navigation bar with tabs: 'Recomendações', 'Informação sobre a construção' (selected), 'Informação sobre o aparelho', 'Plano de voo', 'Levantamento e registo', and 'Processamento de dados'. Below the navigation bar, there are several form fields for entering bridge information: 'Descrição da ponte', 'Tipologia estrutural' (with a dropdown set to 'Outro'), 'Utilização' (with a dropdown set to 'Ferroviária'), 'Localização', 'Data de início da utilização', 'Idade da construção', and 'Pontes em funcionamento'. A 'Tabuleiro' (Deck) section is also visible, with a 'Pilares' (Pillars) sub-section containing a table for recording pillar details. The table has columns for 'Número de pilares', 'Revestimento', 'Outro', and 'Indique qual'. The 'Número de pilares' field is set to '12'. The table lists 12 pillars, each with a 'Revestimento' dropdown set to 'Outro' and an 'Indique qual' dropdown. At the bottom of the interface, there are 'Anterior' and 'Próximo' buttons.

Figura 4.13 - Guião prático – Informações sobre os pilares.

4.3.3.3 – Outros

Neste guião entende-se por “Outros” qualquer construção que não se insira nas últimas duas categorias, como por exemplo túneis, chaminés, barragens, estradas, etc. Devido à grande abrangência de diferentes tipos de construções dentro desta categoria, a mesma não contempla todos os aspetos de cada tipo de construção em específico que nela se inserem. No entanto, a mesma aborda os aspetos considerados importantes, tanto para a identificação e diagnóstico das patologias existentes como para a definição do plano de voo.

À semelhança dos outros tipos de construção descritos anteriormente, solicita-se o preenchimento de informação geral sobre a construção nomeadamente uma descrição da mesma, a tipologia de utilização, localização e data de início de utilização (Figura 4.14). Ainda na mesma página solicita-se informação sobre a geometria da construção, importante para delinear o plano de voo, material de revestimento e material estrutural, por forma a identificar e diagnosticar de forma corretas as anomalias registadas e por fim a altura e área de implantação, também importantes para definir o plano de voo.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Outros tipos de construções

Descrição da construção

Utilização

Localização Localidade

Data de início da utilização Idade da construção Construção em funcionamento Sim **Documentos da construção**

Geometria da construção Material estrutural Outro Indique qual

Área de implantação Altura Material de revestimento Outro Indique qual

Anterior Próximo

Figura 4.14 – Guião prático - Informação sobre outros tipos de construções.

4.3.4 – Informação sobre o aparelho

Após recolhida informação sobre a construção a inspecionar, o utilizador deve fornecer informações sobre o drone que irá utilizar na inspeção. Nesta fase do guião, tendo em conta as informações inseridas pelo utilizador, são fornecidos dados e recomendações importantes para a elaboração do plano de voo, principalmente dados sobre a velocidade ideal a que o drone deve operar e o DOE (Distância ao Objeto de Estudo).

4.3.4.1 – Características do aparelho

Nesta secção, o utilizador deve fornecer informação sobre o aparelho de voo que irá utilizar, nomeadamente:

- Fabricante e modelo do drone;
- Mecanismo de propulsão – Multi-rotor, asa fixa ou híbrido;
- Peso;
- Alcance e altitude máxima;
- Tempo de voo máximo (sem vento);
- Tempo médio de voo (1 bateria);
- Velocidades máximas, sem vento, ascendente e descendente;
- Resistência ao vento;
- Temperatura de utilização;
- Tipo de sistema de localização – GPSS/GLONASS, RTK ou outro;

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | **Informação sobre o aparelho** | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar | Início | Guia de utilização

Características do Aparelho | Características da Camera

Fabricante:
 Marca:
 Mecanismo de propulsão: Multi-rotor | Número de rotores:
 Peso:
 Alcance máximo:
 Altitude máxima:
 Tempo de voo máximo (sem vento):
 Tempo médio de voo (1 bateria):
 Velocidade máxima (sem vento):
 Velocidade máxima ascendente:
 Velocidade máxima descendente:
 Resistência ao vento: 10,00 m/s
 Temperatura de utilização: 40,00 °C
 Sistema de localização: GPS/GLONASS

Mecanismos de propulsão:

Multi-rotor | Asa-Fixa | Híbrido

Anterior | Próximo

Figura 4.15 – Guião prático - Características do aparelho.

As informações inseridas sobre o aparelho (Figura 4.15), nomeadamente a velocidade do vento e a temperatura de utilização, irão servir de base para a realização do plano de voo, principalmente na restrição das condições meteorológicas ótimas para a realização do voo.

4.3.4.2 – Características da câmara

Após fornecida a informação sobre o aparelho, é necessário inserir algumas características sobre a câmara (Figura 4.16), principalmente aquelas que interferem nos cálculos apresentados no capítulo 3, como o tipo de sensor e as suas dimensões, a distância focal equivalente a 35mm, e o comprimento e largura da imagem captada. Além destes aspetos é importante indicar também o ângulo de visão, a qualidade da captura de vídeo e a temperatura de utilização que, por norma, é a mesma do drone.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | **Informação sobre o aparelho** | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar | Início | Guia de utilização

Características do Aparelho | **Características da Camera**

Tipo de câmara: Incorporada

Tipo de sensor: 1/3,0"

Crop Factor	Comprimento	Largura
7,2	4,8	3,6

Distância focal equivalente a 35mm: 22,00 mm

Comprimento da imagem	Largura da imagem
4000	3000

Ângulo de visão (FoV): 78 °

Resolução em vídeo: 4K

Temperatura de utilização: 40,00 °C

A distância focal equivalente a 35mm é a distância focal que geralmente é fornecida pelos fabricantes, geralmente encontra-se nas características da lente em mm.
 Ex: **FOV 78.8° 26 mm (35 mm format equivalent) f/2.2 Distortion < 1.5% Focus from 0.5 m to ∞**

O comprimento e largura da imagem encontra-se geralmente nas características da imagem, sendo apresentado da seguinte forma: Imagem: **4000x3000**, sendo estes os valores que devem ser inseridos no "Comprimento da imagem" e "Largura da imagem".

Anterior | Próximo

Figura 4.16 – Guião prático - Características da câmara.

4.3.5 – Plano de voo

Nesta secção do guião prático é solicitada informação sobre o voo a efetuar por forma a captar toda a envolvente da construção. São também fornecidos alguns parâmetros tendo por base as informações inseridas anteriormente, como o DOE, as velocidades ascendente e descendente recomendadas e a área de mapeamento por cada foto.

4.3.5.1 – Parâmetros do plano de voo

Os parâmetros solicitados nesta secção são apenas a distância média entre o aparelho e o objeto de estudo, a taxa de sobreposição das imagens o intervalo de tempo entre cada foto e o tipo de voo (Figura 4.17).

Por forma a manter a taxa de sobreposição considerada é necessário garantir que a velocidade do drone e o tempo entre cada foto consecutiva permanecem constantes durante todo o levantamento. Hoje em dia grande parte dos drones já dispõe de sistemas que permitem capturar fotos consecutivas dentro de um intervalo de tempo pré-definido e também fixar a velocidade a que estes operam. Caso o aparelho não disponha destas opções aconselha-se que o levantamento seja feito através de capturas de fotos apenas dos pontos de principal interesse e que o resto da envolvente seja mapeada através de vídeo.

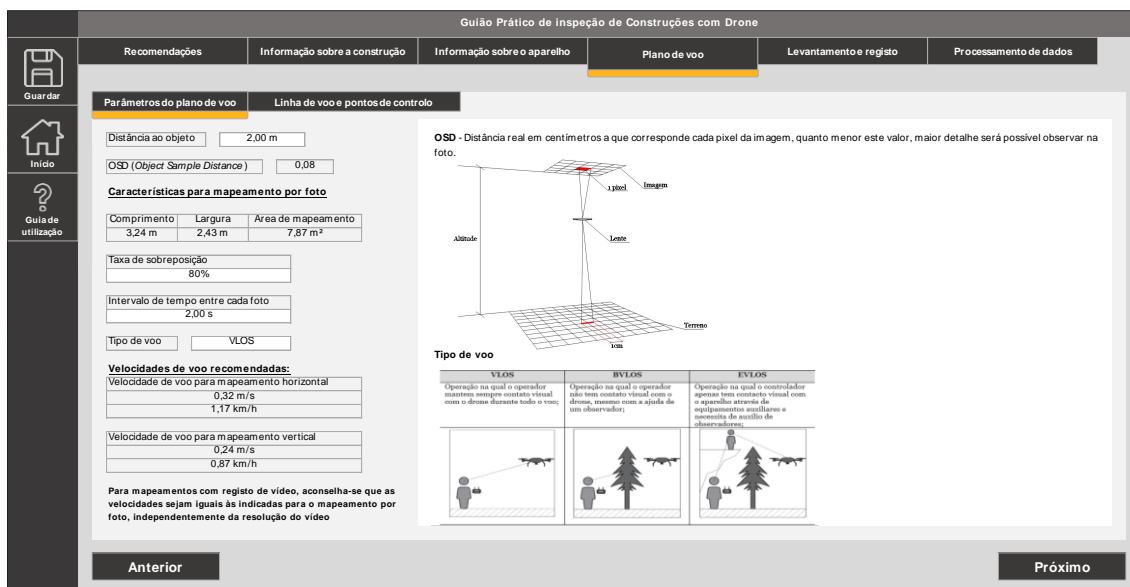


Figura 4.17 – Guião prático - Parâmetros do plano de voo.

4.3.5.2 – Linha de voo e pontos de controlo

Após definidos os principais parâmetros do plano de voo é solicitado que seja apresentada a linha de voo com os principais pontos de registo. Estes pontos devem representar ações fundamentais no levantamento, como o registo de uma zona de particular interesse ou o início e o fim da captura de vídeo ou fotos consecutivas (Figura 4.19).

Caso a posição do controlador se altere durante o levantamento a nova posição deve ser também registada como um ponto de controlo devidamente identificado. No entanto as coordenadas de todos os pontos devem ser sempre apresentadas em relação à posição inicial de onde o drone levantou voo.

Este controlo das posições do controlador é importante para perceber o tipo a distância a que o drone se encontra do mesmo. No que diz respeito à representação da linha de voo, deve ser efetuada uma representação que mostre o voo que o drone irá fazer em torno da envolvente da construção, devendo ser apresentadas tantas vistas quanto necessárias por forma a visualizar toda a linha de voo. No caso de se realizarem dois voos separados, deve ser apresentada uma linha de voo para cada levantamento. No guião é fornecido um exemplo de como deve ser apresentada a linha de voo e os respetivos pontos de controlo (Figura 4.18).

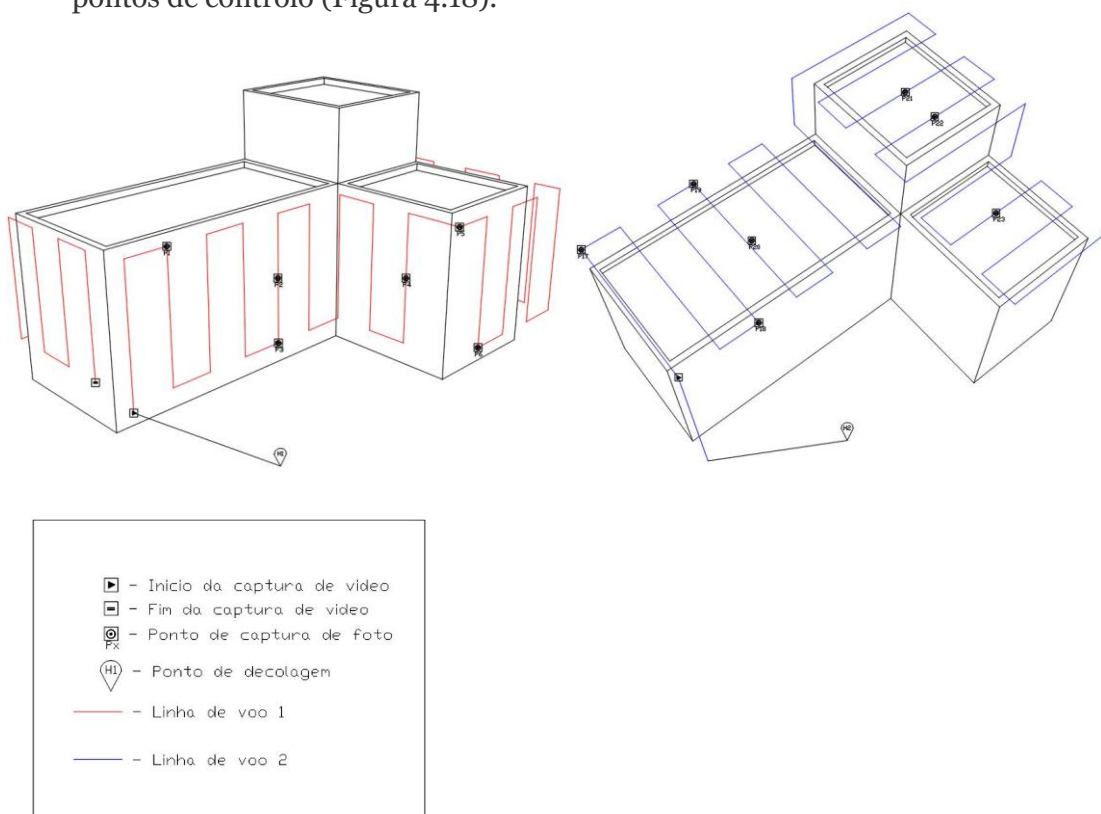


Figura 4.18 – Exemplo de representação da linha de voo.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linha de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linha de voo**

Nesta secção deve introduzir as coordenadas e descrição de pontos importantes no levantamento devendo indicar o ponto da estação de controlo, pontos de decolagem, pontos de registo fotográfico importantes e pontos de início e fim de gravação de vídeo. Estes pontos devem estar representados na linha de voo tal como no exemplo fornecido.

Estação de controlo	Coordenadas com origem na estação de controlo			Coordenadas UTM [ETRS89]			Descrição
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	
0	0	0	0	0	0	0	
1				0	0	0	
2				0	0	0	
3				0	0	0	
4				0	0	0	
5				0	0	0	
6				0	0	0	
7				0	0	0	
8				0	0	0	
9				0	0	0	
10				0	0	0	
11				0	0	0	
12				0	0	0	
13				0	0	0	
14				0	0	0	
15				0	0	0	
16				0	0	0	
17				0	0	0	
18				0	0	0	

Anterior Próximo

Figura 4.19 – Guião prático - Registo de pontos de controlo.

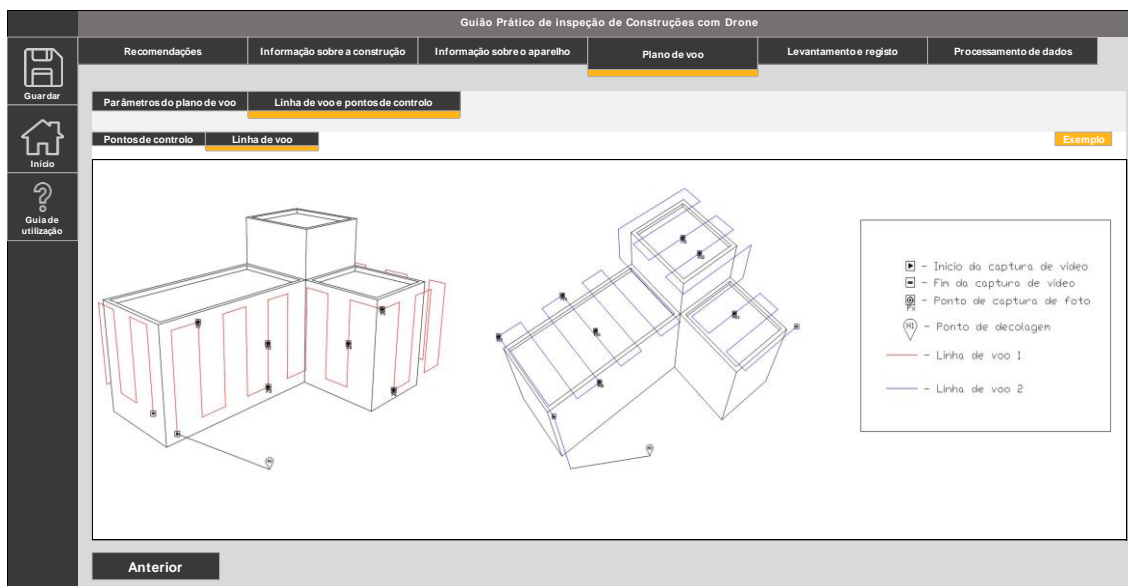


Figura 4.20 – Guião prático - Inserção da linha de voo conforme exemplo apresentado.

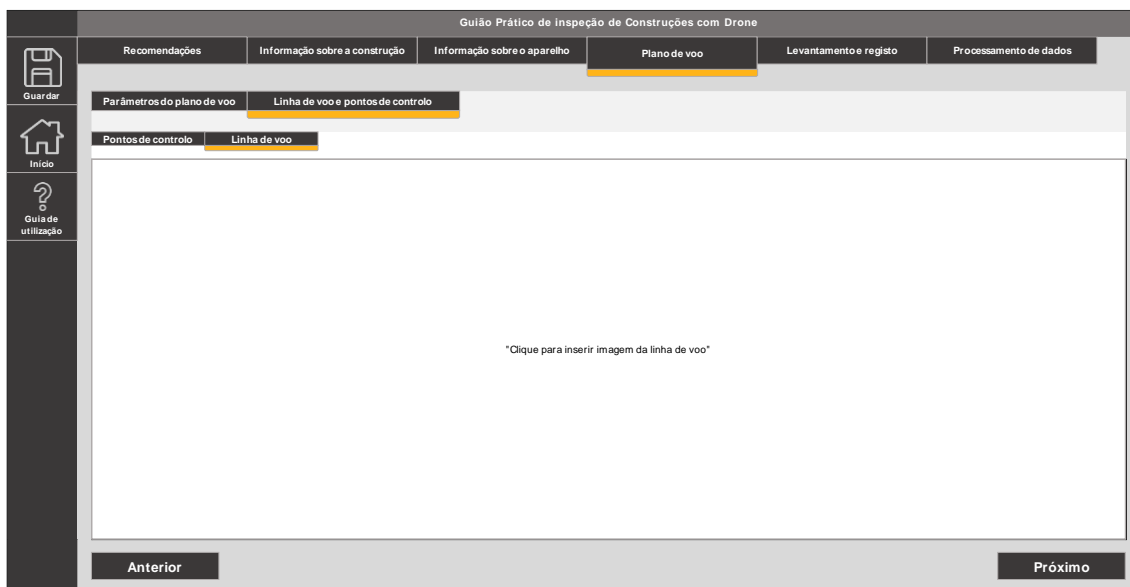


Figura 4.21 – Guião prático - Exemplo de representação da linha de voo fornecido no guião prático.

4.3.6 – Levantamento e registo

Nesta fase são registadas as condições nas quais se efetuou o voo e outros aspetos que possam ser importantes para o trabalho de inspeção. São também registadas todas as informações pertinentes sobre os dados obtidos. Esta fase é dividida em duas partes, uma primeira onde é feita uma verificação pré-voo e uma segunda onde se faz o registo pós-voo.

4.3.6.1 – Verificação pré-voo

Nesta fase do guião é solicitada a verificação de alguns parâmetros a ter em consideração antes de efetuar o voo (Figura 4.22). Os parâmetros solicitados são:

- Velocidade do vento – Deve ser inferior à suportada pelo aparelho;
- Direção do vento;
- Temperatura - Deve ser inferior à suportada pelo aparelho;
- Visibilidade – Deve ser suficiente para permitir voos em VLOS;
- Percentagem de bateria do aparelho a quando do início do voo;
- Verificar se o sistema do aparelho se encontra atualizado;
- Conexão aos sistemas de localização;
- Verificar se os sensores do aparelho se encontram operacionais;
- Verificar se a câmara se encontra operacional;
- Verificar se o aparelho se encontra calibrado;
- Verificar se estão reunidas todas as autorizações necessárias para efetuar o voo;

- Verificar a existência de obstáculos que representem um potencial perigo:
 - Pessoas;
 - Construções;
 - Veículos;
 - Interferências de sinal;
 - Outros;

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | **Levantamento e registo** | Processamento de dados

Guardar | Início | Guia de utilização

Verificação pré-voo | Registo pós-voo

Condições Meteorológicas	✓	x	n/a	Observações
Velocidade do vento				
Temperatura				
Visibilidade				
Aparelho				
Sistema atualizado				
Bateria carregada				
Baterias suplentes				
Sensores operacionais				
Câmara operacional				
Aeronave calibrada				
Sistema de localização				
Autorizações				
Ocupação do espaço aéreo				
Autorização do proprietário				
Registo da aeronave				
Registo do piloto				
Obstáculos				
Construções próximas				
Pessoas				
Veículos				
Interferências de sinal				
Outros				

Nota: Coloque um "x" no espaço em branco caso:
 ✓ _ Verifica
 x _ Não verifica
 n/a _ Não se aplica

Anterior | Próximo

Figura 4.22 – Guião prático – Verificação pré-voo.

4.3.6.2 – Registo pós-voo

Apos realizar a inspeção, solicita-se que seja fornecida informação sobre como a mesma decorreu, sendo solicitados os seguintes aspetos:

- Número de voos efetuados;
- Data e hora de fim;
- Tempo total de voo;
- Número de fotos retiradas;
- Número de vídeos registados;
- Posição real do ponto de decolagem;
- Informações sobre as condições meteorológicas a quando da realização do voo;

Na figura 4.23 podem-se observar as informações solicitadas sobre as condições meteorológicas a quando do levantamento.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | **Levantamento e registo** | Processamento de dados

Registo pré-vooo | **Registo pós-vooo**

Numero de voos efetuados: 3

Voo nº 1	Data:	Hora de início	Hora de fim	Tempo de voo:	00:00:00
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		Número de fotos registadas:		Número de vídeos registados:	
Velocidade do vento:		Humidade:		Observações:	
Direção do vento:		Probabilidade de precipitação:			
Visibilidade:		Temperatura:			

Voo nº 2	Data:	Hora de início	Hora de fim	Tempo de voo:	00:00:00
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		Número de fotos registadas:		Número de vídeos registados:	
Velocidade do vento:		Humidade:		Observações:	
Direção do vento:		Probabilidade de precipitação:			
Visibilidade:		Temperatura:			

Voo nº 3	Data:	Hora de início	Hora de fim	Tempo de voo:	00:00:00
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		Número de fotos registadas:		Número de vídeos registados:	
Velocidade do vento:		Humidade:		Observações:	
Direção do vento:		Probabilidade de precipitação:			
Visibilidade:		Temperatura:			

Anterior Próximo

Figura 4.23 – Guião prático – Registo pós-vooo.

4.3.7 – Tratamento de dados recolhidos e registo de anomalias

Na última parte do guião são fornecidas páginas de registo das anomalias verificadas (Figura 4.24), nas quais se deve inserir a descrição da anomalia, fotografia da anomalia e referir quais as possíveis causas do surgimento da mesma e que medidas de reparação devem ser tomadas.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Principais anomalias detetadas

Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada		Descrição					
Clique para inserir imagem		Possíveis causas					
		Soluções de reparação					

Anterior Próximo Finalizar

Figura 4.24 – Guião Prático – Processamento dos dados recolhidos e registo de anomalias.

4.4 Notas finais

A regulamentação e legislação existente sobre drones e a sua utilização foca-se essencialmente no controlo dos riscos associados ao uso de drones, sendo os principais o mau funcionamento do aparelho e possível dano de propriedade alheia ou até mesmo o ferimento de pessoas. Por forma a mitigar a probabilidade de tais acidentes acontecerem, os regulamentos existentes em diversos países, incluindo Portugal, focam-se na regulação do uso do espaço aéreo, na imposição de regras e limites para voos com drones e regulamentação dos aspetos legais e administrativos através da imposição de licenças de uso, permissões de voo e o registo dos operadores e das aeronaves. No caso da utilização de drones para inspeção visual, não existem regras ou recomendações específicas de como estes devem ser utilizados, o que por vezes leva a que as inspeções realizadas com estes aparelhos não sejam executadas com o rigor e eficácia que estes são capazes de fornecer.

Por forma a encontrar um equilíbrio entre a qualidade e eficácia dos trabalhos de inspeção realizados com drones, foi elaborada uma proposta de guião prático que visa fornecer, tanto ao técnico que realiza a inspeção como ao operador do drone, informações e recomendações de como realizar o voo e o registo da envolvente da construção, controlando aspetos fundamentais que podem influenciar os resultados obtidos, como as condições meteorológicas as características do drone que irá ser utilizado. Além do controlo destas variáveis o guião fornece também indicações e recomendações de como efetuar o voo e a inspeção da construção, para que no final seja possível tratar todos os dados recolhidos e indicar quais as anomalias registadas, as possíveis causas e quais as medidas de intervenção mais indicadas.

Importa referir que o estudo apresentado é uma proposta base de carácter académico e que poderá carecer ainda de melhorias que se realizarão ao longo do tempo, tendo por base um amadurecimento do conhecimento e da prática.

Capítulo 5

5. Aplicação do guião proposto a casos práticos

5.1 Enquadramento

Por forma a verificar a utilidade do guião elaborado e a forma como este pode servir como uma ferramenta de controlo da qualidade e da eficácia de inspeções visuais efetuadas com drones, o mesmo foi aplicado a cinco casos de estudo, dois edifícios, duas pontes e uma chaminé em betão armado, que se insere na categoria “Outros”.

5.2 Casos de estudo

Os casos de estudo indicados anteriormente foram selecionados de maneira a que fosse possível abranger todas as categorias descritas no guião, tendo sido analisadas duas pontes, um edifício habitacional e uma chaminé em betão armado. De seguida é feita uma breve descrição de cada um dos casos de estudo.

5.2.1 – Ponte pedonal sobre o Vale da Carpinteira

A ponte sobre o Vale da Carpinteira, da autoria do Arquiteto João Carrilho da Graça e do Engenheiro Adão Fonseca, surge na sequência de um plano de mobilidade do Município da Covilhã para facilitar a circulação pedonal entre o centro da cidade e a zona dos Penedos Altos.

A estrutura da ponte tem 2 vigas paralelas que se apoiam em 4 pilares. As vigas, revestidas exteriormente em aço e interiormente em madeira de Azabé, têm 1,75m de altura e 4,40m de largura, criando com a laje uma secção em “U”. Os dois pilares centrais de secção retangular, igualmente revestidos em aço e a acompanhar as dimensões exteriores do tabuleiro, situam-se junto ao leito da ribeira. Os outros dois, de secção circular, encontram-se junto à encosta, sendo por isso menores. Os pilares circulares são em betão e parcialmente revestidos por blocos de granito [60].



Figura 5.1 – Ponte sobre a ribeira da Carpinteira (Covilhã).

Esta ponte foi escolhida especialmente pelas suas características geométricas que dificultam a utilização de veículos ou outros equipamentos especiais para a realização de uma inspeção visual corrente e também devido à tipologia do terreno sobre o qual esta se insere, visto ser um vale com uma altura considerável, a montagem de estruturas auxiliares por forma a inspecionar os pilares da ponte iria gerar custos extremamente elevados e injustificáveis para uma inspeção visual simples.

Devido a estes fatores, esta ponte é um ótimo exemplo de como os drones podem ser uma ferramenta de grande utilidade, proporcionando uma inspeção detalhada a um custo e risco bastante reduzidos quando comparados com os métodos tradicionais de inspeção.

5.2.2 – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria

Ponte localizada na estrada nacional nº346 que faz a ligação entre as aldeias do Dominguiso e Alcaria no concelho da Covilhã. A ponte tem uma extensão de 130m e é composta por um tabuleiro de 9.38m de largura, suportado por vigas pré-esforçadas pré-fabricadas em betão armado e pilares também em betão armado.

Esta ponte foi escolhida principalmente por fazer a travessia sobre uma linha de água, o que dificulta os trabalhos de inspeção, à semelhança da ponte considerada anteriormente, o objetivo é demonstrar que nestas circunstâncias uma inspeção com drone pode representar uma mais-valia tanto em termos de qualidade da inspeção como

da eficácia da mesma, tanto no custo como no tempo necessário para a realização da inspeção.



Figura 5.2 – Ponte entre o Dominguiço e Alcaria.

5.2.3 – Edifício de Santo António

O projeto original da Edifício de Santo António recebeu licença de construção, por parte da Câmara Municipal da Covilhã a 27 de maio de 1975. Previa a construção de um prédio com 18 pisos (designado como Edifício A), sendo 16 destinados a apartamentos, estando também prevista a instalação de um restaurante panorâmico no último piso. Esta edifício era parte de um projeto de habitação da responsabilidade do arquiteto Fernando Pinto de Sousa, que previa ainda a construção de mais dois edifícios de sete andares (designados como Blocos B e C), a ladear o edifício principal, formando um T invertido. A construção era baseada em financiamentos bancários, e arrancou em finais da década de 1970, tendo sido apenas iniciada a construção do edifício principal. Mas as obras acabaram por parar devido à falência do construtor. Na altura, o edifício principal estava já em fase de acabamentos, sendo que as habitações do sétimo ao décimo segundo andar estavam já concluídas e prontas a habitar [61].

A escolha deste edifício para o âmbito deste trabalho baseou-se essencialmente no facto de ser um edifício com uma altura considerável (cerca de 45m) e também bastante devoluto, podendo ser, tal como nos exemplos anteriores, uma boa forma de demonstrar a eficácia do drone na inspeção de edifícios altos.



Figura 5.3 – Edifício de Santo António (Covilhã).

5.2.4 – Chaminé do polo principal da Universidade da Beira Interior

Por forma a abranger todas as categorias propostas no guião prático, foi selecionada uma chaminé em betão armado situada no polo principal da Universidade da Beira interior. Devido a ser uma chaminé localizada numa zona de difícil acesso e na qual se torna difícil a colocação de estruturas auxiliares por forma a fazer uma inspeção visual tradicional, esta construção foi um bom exemplo de como o drone permite o fácil acesso a construções localizadas em zonas recônditas.



Figura 5.4 – Chaminé em betão armado do polo principal da Universidade da Beira Interior

5.3 Aplicação do guião aos casos de estudo

5.3.1 – Ponte da Carpinteira

Seguindo o guião prático, primeiramente introduziu-se os dados sobre a construção (Figura 5.5).

The screenshot shows the 'Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone' application. The interface includes a sidebar with 'Guardar', 'Inicio', and 'Guia de utilização' icons. The main content area is titled 'Pontes' and contains the following fields:

- Recomendações
- Informação sobre a construção (selected)
- Informação sobre o aparelho
- Plano de voo
- Levantamento e registo
- Processamento de dados

Fields for bridge information:

- Descrição da ponte: Ponte da Carpinteira
- Tipologia estrutural: Em viga, Pré-esforço, Não
- Utilização: Pedonal
- Localização: R. Marquês de Avila e Bolama, 418, Covilhã
- Data de início da utilização: 01/01/2009
- Idade da construção: 11
- Ponte em funcionamento: Não
- Documentos da construção (button)

Navigation buttons: Anterior, Próximo

Figura 5.5 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre a construção.

De seguida introduziram-se informações sobre o tabuleiro da ponte (Figura 5.6).

The screenshot shows the 'Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone' application. The interface includes a sidebar with 'Guardar', 'Inicio', and 'Guia de utilização' icons. The main content area is titled 'Pontes' and contains the following fields:

- Recomendações
- Informação sobre a construção (selected)
- Informação sobre o aparelho
- Plano de voo
- Levantamento e registo
- Processamento de dados

Fields for bridge information (repeated from Figure 5.5):

- Descrição da ponte: Ponte da Carpinteira
- Tipologia estrutural: Em viga, Pré-esforço, Não
- Utilização: Pedonal
- Localização: R. Marquês de Avila e Bolama, 418, Covilhã
- Data de início da utilização: 01/01/2009
- Idade da construção: 11
- Ponte em funcionamento: Não
- Documentos da construção (button)

Fields for bridge deck information:

- Tabuleiro (selected)
- Pilares
- Material estrutural: Aço
- Extensão: 220.00 m
- Largura do tabuleiro: 4,40 m
- Numero de vias de circulação: 1
- Material de pavimentação: Madeira
- Sistema de drenagem: Não

Navigation buttons: Anterior, Próximo

Figura 5.6 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre o tabuleiro.

Após inserida a informação essencial sobre o tabuleiro, inseriu-se informação sobre os pilares da ponte (Figura 5.7).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Pontes

Descrição da ponte: Ponte da Carpinteira

Tipologia estrutural: Em viga | Pré-esforço: Não

Utilização: Pedonal

Localização: R. Marquês de Ávila e Bolama, 418, Covilhã | 0 | 0 | 0

Data de início da utilização: 01/01/2009 | Idade da construção: 11 | Ponte em funcionamento: Não

Documentos da construção

Tabuleiro | **Pilares**

Numero de pilares: 4

Pilar	Altura	Seção	Diâmetro	Comprimento	Largura	Material estrutural	Indique qual
Pilar 1 -	22,00 m	Circular	2,50 m	4,40 m	1,75 m	Betão	Aço e betão
Pilar 2 -	39,00 m	Retangular	4,40 m	4,40 m	1,75 m	Outro	Aço e betão
Pilar 3 -	34,00 m	Retangular	4,40 m	4,40 m	1,75 m	Outro	Aço e betão
Pilar 4 -	19,00 m	Circular	2,50 m	4,40 m	1,75 m	Betão	Aço e betão

Anterior | Próximo

Figura 5.6 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre os pilares.

Após completada a informação sobre a construção, é agora inserida informação sobre o aparelho e a câmara do mesmo (Figura 5.7 e Figura 5.8 respetivamente).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | **Informação sobre o aparelho** | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Características do Aparelho | Características da Câmara

Fabricante: DJI

Gama: MAVIC PRO

Tipologia de voo: Multi-rotor | Número de rotores: 4

Peso: 734,00 g

Alcance máximo: 13,00 km

Altitude máxima: 5,00 km

Tempo de voo máximo (sem vento): 27,00 min

Tempo médio de voo (1 bateria): 21,00 min

Velocidade máxima (sem vento): 18,00 m/s

Velocidade máxima ascendente: 5,00 m/s

Velocidade máxima descendente: 3,00 m/s

Resistência ao vento: 10,00 m/s

Temperatura de utilização: 40,00 °C

Sistema de localização: GPS/GLONASS

Mecanismos de propulsão:

Multi-rotor | Asa-Fixa | Híbrido

Anterior | Próximo

Figura 5.7 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre o aparelho.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone




	Recomendações	Informação sobre a construção	Informação sobre o aparelho	Plano de voo	Levantamento e registo	Processamento de dados										
<p> Guardar</p> <p> Início</p> <p> Guia de utilização</p>	<p>Características do Aparelho</p> <p>Tipo de câmara: <input type="text" value="Gimbal"/></p> <p>Tipo de sensor: <input type="text" value="1/2.3"/></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Crop Factor</td> <td>Comprimento</td> <td>Largura</td> </tr> <tr> <td>5.6</td> <td>6,17</td> <td>4,56</td> </tr> </table> <p>Distância focal equivalente a 35mm: <input type="text" value="26,00 mm"/></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Comprimento da imagem</td> <td>Largura da imagem</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>3000</td> </tr> </table> <p>Angulo de visão (FoV): <input type="text" value="78°"/></p> <p>Resolução em video: <input type="text" value="4K"/></p> <p>Temperatura de utilização: <input type="text" value="40,00 °C"/></p>		Crop Factor	Comprimento	Largura	5.6	6,17	4,56	Comprimento da imagem	Largura da imagem	4000	3000	<p>Características da Câmara</p> <p>A distância focal equivalente a 35mm é a distância focal que geralmente é fornecida pelos fabricantes, geralmente encontra-se nas características da lente em mm. Ex: FOV 78.8° 26 mm (35 mm format equivalent) f/2.2 Distortion < 1.5% Focus from 0.5 m to ∞</p> <p>O comprimento e largura da imagem encontra-se geralmente nas características da imagem, sendo apresentado da seguinte forma: Imagem: 4000x3000, sendo estes os valores que devem ser inseridos no "Comprimento da imagem" e "Largura da imagem".</p>			
Crop Factor	Comprimento	Largura														
5.6	6,17	4,56														
Comprimento da imagem	Largura da imagem															
4000	3000															
Anterior			Próximo													

Figura 5.8 – Aplicação do guião prático – Ponte da Carpinteira – Informação sobre a câmara.

Feito o registo das informações da construção e do aparelho, é necessário agora elaborar o plano de voo. No caso desta construção foram elaborados três voos distintos, o primeiro para inspecionar a parte superior e lateral do tabuleiro (Figuras 5.9 e 5.10), o segundo para inspecionar os dois pilares centrais (Figura 5.11) e o terceiro para inspecionar os dois pilares circulares em betão (Figura 5.12).



Figura 5.9 – Ponte da Carpinteira - registo da parte superior do tabuleiro da ponte.



Figura 5.10 – Ponte da Carpinteira - registo da lateral voltada a poente da ponte.



Figura 5.11 – Ponte da Carpinteira - registo dos pilares centrais da ponte.



Figura 5.12 – Ponte da Carpinteira - registo dos pilares circulares em betão.

Inicialmente não foi planeada a inspeção da parte inferior do tabuleiro pois pensava-se que o drone utilizado não tinha capacidade de rotacionar a câmara por forma a visualizar o que se encontra a cima do mesmo. No entanto, já depois de se terem elaborado as três linhas de voo, verificou-se que o mesmo era capaz de apontar a câmara a um ângulo de 30° para a parte superior, permitindo visualizar assim a zona inferior do tabuleiro (Figuras 5.13).



Figura 5.13 – Ponte da Carpinteira – zona inferior do tabuleiro da ponte.

Para auxiliar na elaboração do plano de voo, e uma vez que o registo foi feito através de fotos consecutivas, definiu-se no guião prático a distância de inspeção, a taxa de sobreposição e o intervalo de tempo entre fotos, obtendo-se assim um DOE de 0,07 cm/pixel (Figura 5.14).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações
Informação sobre a construção
Informação sobre o aparelho
Plano de voo
Levantamento e registo
Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Parâmetros do plano de voo **Linha de voo e pontos de controlo**

Distância ao objeto

DOE (distância ao Objeto de estudo)

Características para mapeamento por foto

Comprimento	Largura	Área de mapeamento
2,86 m	1,99 m	5,30 m ²

Taxa de sobreposição

Intervalo de tempo entre cada foto

Tipo de voo

Velocidades de voo recomendadas:

Velocidade de voo para mapeamento horizontal
0,27 m/s
0,96 km/h
Velocidade de voo para mapeamento vertical
0,20 m/s
0,72 km/h

Para mapeamentos com registo de vídeo, aconselha-se que as velocidades sejam iguais às indicadas para o mapeamento por foto, independentemente da resolução do vídeo

OSD - Distância real em centímetros a que corresponde cada pixel da imagem, quanto menor este valor, maior detalhe será possível observar na foto.

Tipo de voo

VLOS	BVLOS	EVSLOS
Operação na qual o operador mantém sempre contacto visual com o drone durante todo o voo;	Operação na qual o operador não tem contacto visual com o drone, mesmo com a ajuda de um observador;	Operação na qual o controlador age sem contacto visual com o aparelho através de equipamentos auxiliares e dependentes de estado de observação;

Anterior
Próximo

Figura 5.14 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Parâmetros do plano de voo.

Seguidamente registaram-se os pontos de controlo (Figura 5.15) e as respetivas linhas de voo de cada uma das inspeções (Figuras 5.16, 5.17 e 5.18).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linha de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linha de voo**

Nesta seção deve introduzir as coordenadas e descrição de pontos importantes no levantamento devendo indicar o ponto da estação de controlo, pontos de decolagem, pontos de registo fotográfico importantes e pontos de início e fim de gravação de vídeo. Estes pontos devem estar representados na linha de voo tal como no exemplo fornecido.

Estação de controlo	Coordenadas com origem na estação de controlo			Coordenadas UTM [ETRS89]			Descrição
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	
	0	0	0	627257,434	4460502,178	578,6	
Pontos de controlo							
1	-1,61	15,7	42,68	627255,824	4460517,878	621,28	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 1
2	-1,61	15,7	42,68	627255,824	4460517,878	621,28	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 1
H2	0	0	0	627257,434	4460502,178	578,6	Ponto de decolagem - Voo 2
H2.1	-3,55	18,73	5	627253,884	4460518,908	583,6	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 2
H2.2	23,92	88,46	13,39	627281,354	4460570,838	591,99	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 2
H3	61,31	99,75	23,73	627318,744	4460601,928	602,33	Ponto de decolagem - Voo 3
H3.1	22,69	101,67	29,33	627280,124	4460603,848	607,93	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 3
H3.2	-17,37	-34,79	21,21	627240,064	4460467,388	599,81	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 3

Anterior | Próximo

Figura 5.15 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Pontos de controlo.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linha de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linhas de voo (1)** | Linhas de voo (2) | Linhas de voo (3) | Exemplo

- Início de captura de foto;
 - Fim de captura de foto;
 - Início de gravação de vídeo;
 - Fim de gravação de vídeo;
 - Ponto de decolagem;
 - Linha e direção de voo;

Anterior | Próximo

Figura 5.16 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 1.

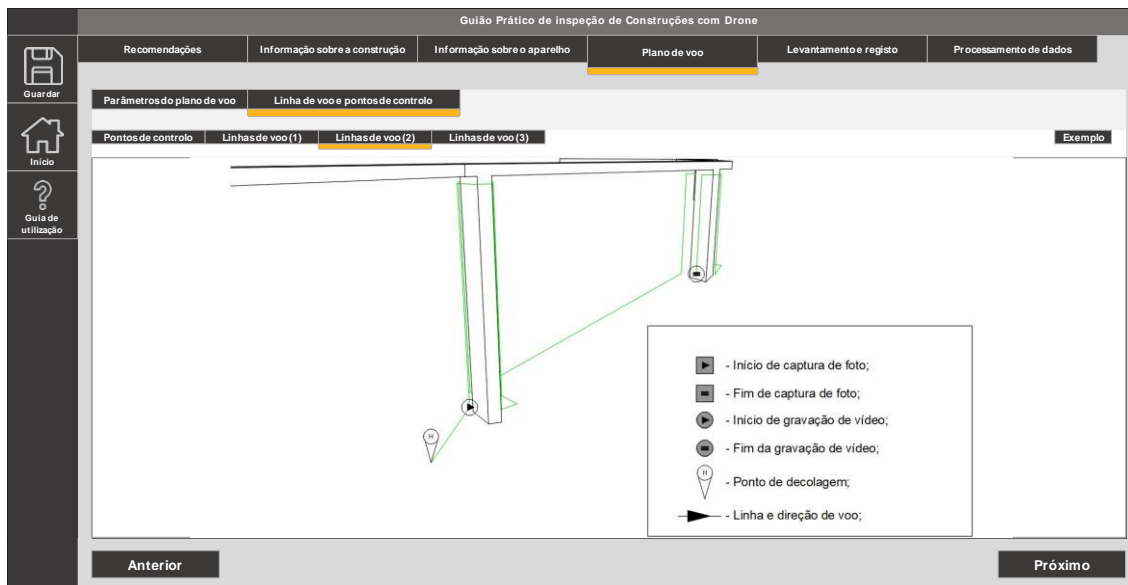


Figura 5.17 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 2.

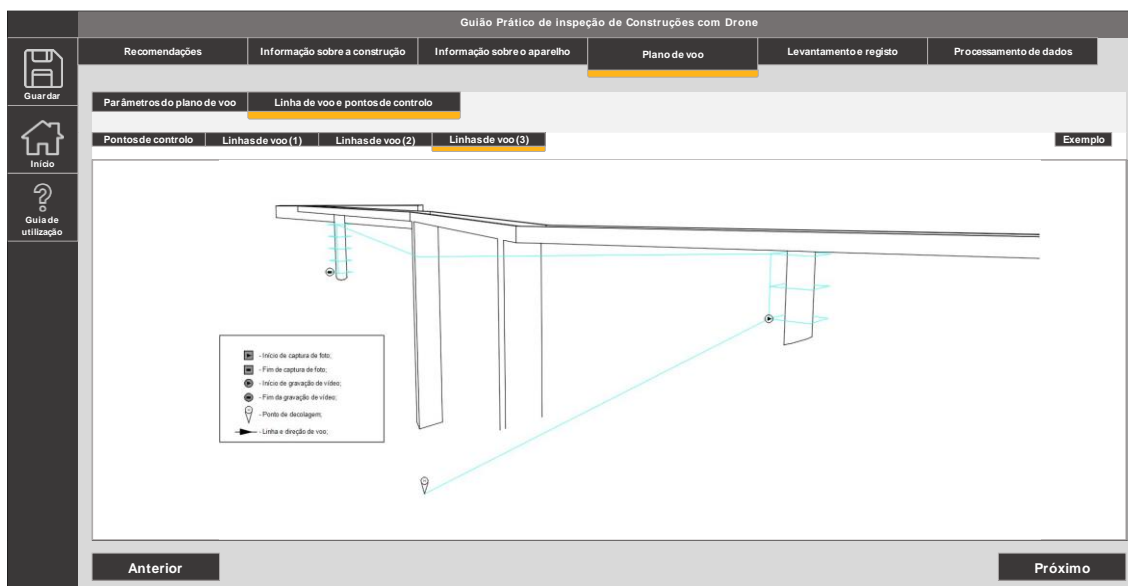


Figura 5.18 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Linha de voo 3.

Após definidas as linhas de voo e os respetivos pontos de controlo, passou-se à realização das inspeções. Antes de iniciar o voo, foram registadas as condições climatéricas e verificados os restantes parâmetros indicados no guião prático (Figura 5.19). De salientar que durante a inspeção não foi impedida a circulação de pessoas através da ponte, sendo que foram tomadas todas as precauções para que não ocorressem acidentes ao evitar aproximar o drone da construção e suspendendo o voo sempre que uma ou mais pessoas atravessavam a ponte.

Tendo-se verificados todos os parâmetros e estando reunidas as condições de voo impostas no guião prático, procedeu-se à realização das inspeções (Figuras 5.20).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações Informação sobre a construção Informação sobre o aparelho Plano de voo **Levantamento e registo** Processamento de dados

Guardar

Início

Guia de utilização

Verificação pré-vo Registo pós-vo

Condições Meteorológicas	✓	✗	n/a	Observações
Velocidade do vento	x			
Temperatura	x			
Visibilidade	x			
Aparelho				
Sistema atualizado	x			
Bateria carregada	x			
Baterias suplentes	x			
Sensores operacionais	x			
Câmara operacional	x			
Aeronava calibrada	x			
Sistema de localização	x			
Autorizações				
Ocupação do espaço aéreo			x	
Autorização do proprietário	x			
Registo da aeronave			x	
Registo do piloto			x	
Obstáculos				
Construções próximas	x			
Pessoas		x		
Veículos	x			
Interferências de sinal	x			
Outros	x			

Nota: Coloque um "x" no espaço em branco caso:
 ✓ - Verifica
 ✗ - Não verifica
 n/a - Não se aplica

A ponte não foi encerrada a quando da inspeção.

Anterior Próximo

Figura 5.19 – Guião prático – Ponte da Carpinteira – Verificação pré-vo.



Figura 5.20 – Ponte da carpinteira - Realização da inspeção.

Após realizada a inspeção efetuou-se o registo dos dados obtidos e das condições nas quais se realizou cada uma das inspeções (Figura 5.21) e seguidamente procedeu-se ao tratamento dos dados, selecionado as imagens que apresentavam as principais anomalias da construção, descreveu-se cada uma das anomalias, indicaram-se as possíveis causas e quais as medidas de intervenção aconselhadas (Figuras 5.22 e 5.23).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações Informação sobre a construção Informação sobre o aparelho Plano de voo **Levantamento e registo** Processamento de dados

Guardar Início Guia de utilização

Registo pré-voos **Registo pós-voos**

Numero de voos efetuados: 3

Voo nº	Data	Hora de início	Hora de fim	Tempo de voo
Voo nº 1	18/07/2020	08:52:00	09:05:53	00:13:53
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		H		Observações:
Numero de fotos registadas:	143	Numero de videos registados:	1	
Velocidade do vento:	2,00 m/s	Humidade:	29,00%	
Direção do vento:	NES-SW	Probabilidade de precipitação:	0,00%	
Visibilidade:	16,00 km	Temperatura:	25,30 °C	
Voo nº 2	18/07/2020	09:17:35	09:31:14	00:13:39
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		H2		Observações:
Numero de fotos registadas:	93	Numero de videos registados:	0	
Velocidade do vento:	2,00 m/s	Humidade:	27,00%	
Direção do vento:	NES-SW	Probabilidade de precipitação:	0,00%	
Visibilidade:	16,00 km	Temperatura:	26,60 °C	
Voo nº 3	18/07/2020	09:49:56	10:03:48	00:13:52
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		H3		Observações:
Numero de fotos registadas:	59	Numero de videos registados:	0	
Velocidade do vento:	1,90 m/s	Humidade:	25,00%	
Direção do vento:	NES-SW	Probabilidade de precipitação:	0,00%	
Visibilidade:	16,00 km	Temperatura:	28,00 °C	

Anterior Próximo



Figura 5.21 – Guião prático - Ponte da Carpinteira – Registo pós-voos.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações Informação sobre a construção Informação sobre o aparelho Plano de voo **Levantamento e registo** Processamento de dados

Guardar Início Guia de utilização

Principais anomalias detetadas

Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Humidade e musgo							
							
<p>Descrição Regista-se a existência de humidade e musgo na superfície dos pilares em betão armado.</p> <p>Possíveis causas - Falta de sistema de drenagem apropriado; - Falta de tratamento/proteção da superfície de betão;</p> <p>Soluções de reparação Inicialmente estes pilares foram projetados por forma a que a vegetação crescesse em toda a sua altura, o que poderia ajudar a absorver a água que se encontra infiltrada nos pilares. No caso da solução inicial não se concretizar, propunha-se a elaboração de um sistema de drenagem por forma a encaminhar as águas pluviais e evitar que estas escorressem livremente pela superfície dos pilares.</p>							

Anterior Próximo Finalizar



Figura 5.22 – Guião prático – Ponte da carpinteira – registo da anomalia 1.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações Informação sobre a construção Informação sobre o aparelho Plano de voo **Levantamento e registo** Processamento de dados

Guardar Início Guia de utilização

Principais anomalias detetadas

Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Grafitis							
							
<p>Descrição Regista-se a existência de desenhos não autorizados na zona voltada a poente do tabuleiro e no encontro da ponte com a rua Marquês de Ávila e Bolama.</p> <p>Possíveis causas - Vandalismo</p> <p>Soluções de reparação Limpeza da superfície vandalizada através da remoção da tinta utilizada para efetuar a gravura; Proteger a superfície com tinta de elevada resistência química;</p>							

Anterior Próximo Finalizar

Figura 5.23 - Guião prático – Ponte da carpinteira – registo da anomalia 2.

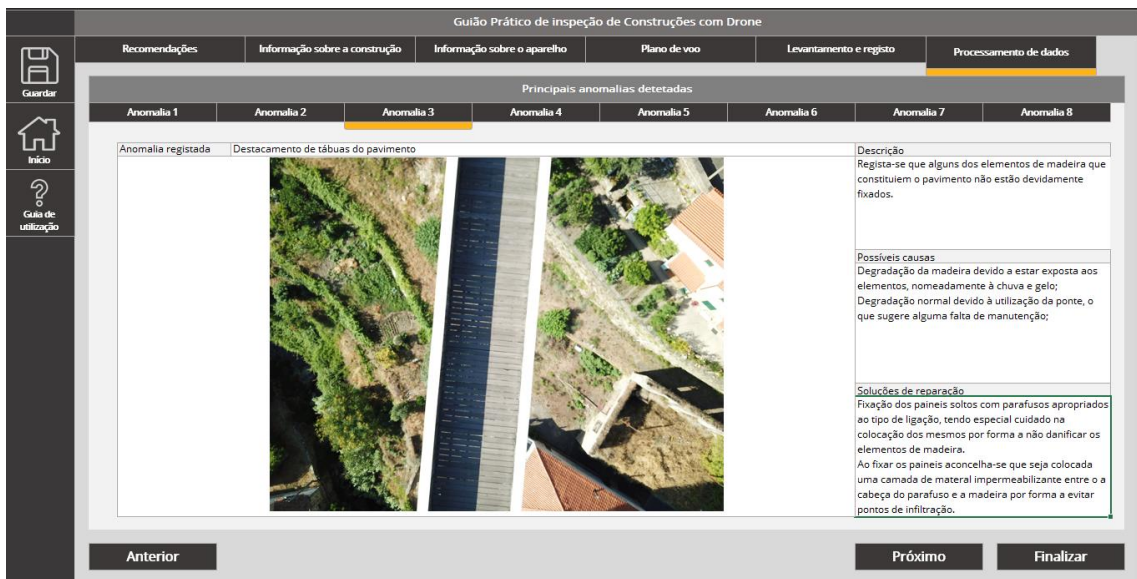


Figura 5.24 – Guião prático – Ponte da carpinteira – registo de anomalia 3.

Como se pode verificar nas figuras 5.22, 5.23 e 5.24 apenas se registaram três anomalias, anomalias essas que não põem em causa a segurança da construção, sendo no entanto necessário alguns trabalhos de reparação e manutenção bem como a possibilidade de colocação de um sistema de drenagem tal como indicado no registo numero 1. Pode-se assim concluir que a ponte se encontra num bom estado de conservação e sem necessidade de intervenções urgentes.

5.3.2 – Ponte entre as freguesias do Dominguiso e de Alcaria

Tal como no caso de estudo anterior, inicialmente foi inserida a informação sobre a construção (Figuras 5.25, 5.26 e 5.27).

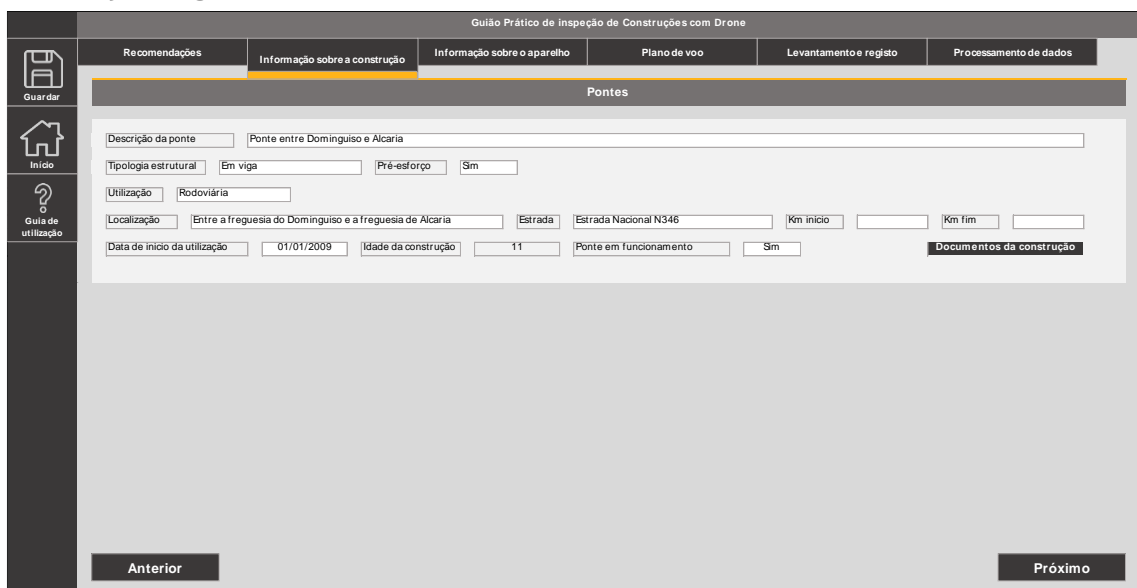


Figura 5.25 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Informação geral sobre a ponte.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guião de utilização

Pontes

Descrição da ponte: Ponte entre Dominguiso e Alcária

Tipologia estrutural: Em viga | Pré-esforço | Sim

Utilização: Rodoviária

Localização: Entre a freguesia do Dominguiso e a freguesia de Alcária | Estrada: Estrada Nacional N346 | Km início: 0 | Km fim: 0

Data de início da utilização: 01/01/2009 | Idade da construção: 11 | Ponte em funcionamento: Sim

Documentos da construção

Tabuleiro | Pilares

Material estrutural: Betão

Extensão: 187,00 m | Largura do tabuleiro: 8,64 m | Número de vias de circulação: 2 | Material de pavimentação: Asfalto

Sistema de drenagem: Sim | Indique qual o sistema de drenagem: Simidouros e tubos de descarga

Anterior | Próximo

Figura 5.26 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcária – Informação sobre o tabuleiro.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Guardar

Início

Guião de utilização

Pontes

Descrição da ponte: Ponte entre Dominguiso e Alcária

Tipologia estrutural: Em viga | Pré-esforço | Sim

Utilização: Rodoviária

Localização: Entre a freguesia do Dominguiso e a freguesia de Alcária | Estrada: Estrada Nacional N346 | Km início: 0 | Km fim: 0

Data de início da utilização: 01/01/2009 | Idade da construção: 11 | Ponte em funcionamento: Sim

Documentos da construção

Tabuleiro | **Pilares**

Numero de pilares: 12

Pilar	Altura	Seção	Comprimento	Largura	Material estrutural
Pilar 1 -	4,72 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 2 -	5,11 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 3 -	4,49 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 4 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 5 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 6 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 7 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 8 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 9 -	5,50 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 10 -	3,71 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 11 -	3,71 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão
Pilar 12 -	3,71 m	Retangular	0,60 m	0,60 m	Betão

Anterior | Próximo

Figura 5.27 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcária – Informação sobre os pilares.

Após inserida a informação sobre a construção, foi inserida a informação sobre o aparelho. Tendo em conta que o aparelho utilizado foi o mesmo utilizado na inspeção anterior, os dados do mesmo podem ser consultados nas figuras 5.7 e 5.8, bem como as características consideradas no plano de voo na figura 5.14.

Relativamente ao plano de voo, realizaram-se dois voos distintos, registando inicialmente as coordenadas dos principais pontos de controlo (Figura 5.28). O primeiro voo serviu para inspecionar o pavimento rodoviário e as laterais do tabuleiro (Figura 5.29) e o segundo para inspecionar os pilares e blocos de fundação (Figura 5.30).

Tal como na inspeção anterior, também à data desta inspeção desconhecia-se a capacidade de o drone apontar a câmara para a cima, por forma a visualizar a parte inferior do tabuleiro, como tal não foi considerado nenhum plano de voo específico para essa zona. No entanto, após saber que o drone tinha essa capacidade de visualizar o que se encontrava acima do mesmo, foi feito um registo pontual da zona inferior do tabuleiro da ponte (Figura 5.31).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linha de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linha de voo**

Nesta secção deve introduzir as coordenadas e descrição de pontos importantes no levantamento devendo indicar o ponto da estação de controlo, pontos de decolagem, pontos de registo fotográfico importantes e pontos de início e fim de gravação de vídeo. Estes pontos devem estar representados na linha de voo tal como no exemplo fornecido.

Estação de controlo	Coordenadas com origem na estação de controlo			Coordenadas UTM [ETRS89]			Descrição
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	
0	0	0	0	625891,263	4451279,323	396,9	
Pontos de controlo							
1	14,37	-58,34	12,42	625905,633	4451220,983	409,32	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 1
2	-90,79	29,9	6,51	625800,473	4451309,223	403,41	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 1
H2	0	0	0	625891,263	4451279,323	396,9	Ponto de decolagem - Voo 2
H2.1	64,84	5,69	2,25	625956,103	4451285,013	399,15	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 2
H2.2	5,62	64,15	3,76	625896,883	4451343,473	400,66	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 2

Anterior | Próximo

Figura 5.28 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Pontos de controlo.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linha de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linhas de voo (1)** | Linhas de voo (2) | Linhas de voo (3) | Exemplo

- - Início de captura de fotos;
- - Fim de captura de fotos;
- - Início de gravação de vídeo;
- - Fim da gravação de vídeo;
- 📍 - Ponto de decolagem;
- ➔ - Linha e direção de voo;

Anterior | Próximo

Figura 5.29 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Linha de voo 1.

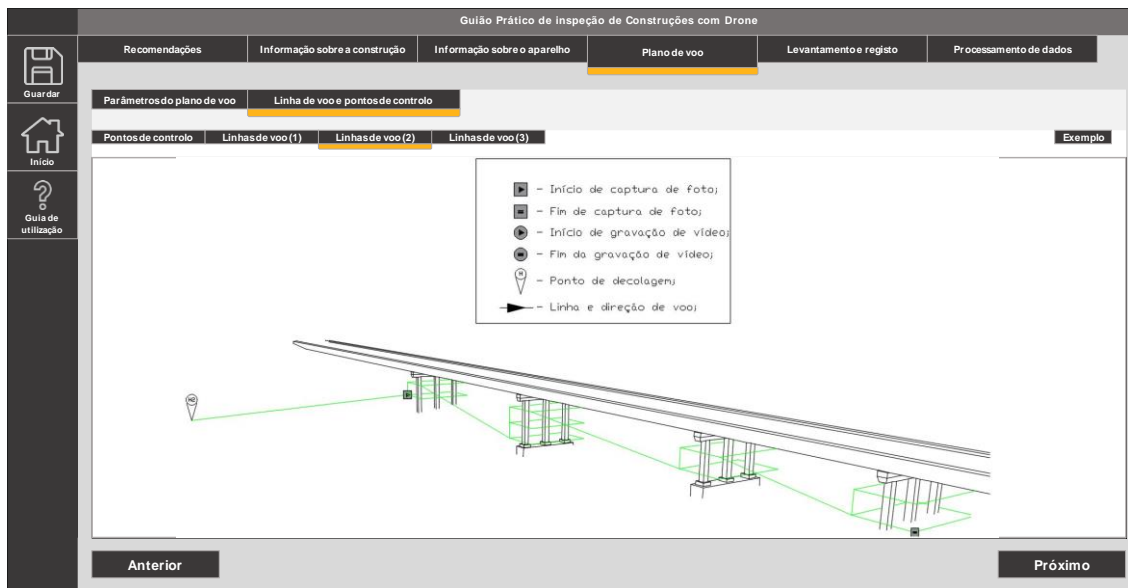


Figura 5.30 – Guia prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcária – Linha de voo 2.

Após definidas as linhas de voo, realizou-se a inspeção, começando por realizar as verificações preliminares. A quando do início do voo número 2, registou-se um comportamento pouco usual do aparelho. Quando este sobrevoava a água o mesmo deixou de responder ao controlo remoto e começou a perder altitude, de imediato suspendeu-se o voo e fez-se regressar o aparelho para o ponto de decolagem H2. Após verificar se o sistema estava calibrado e se o aparelho apresentava algum dano físico, constatou-se que os sensores estavam ligados, algo que o fabricante não aconselha sempre que se sobrevoa água. Tal incidente ficou registado nas observações das verificações pré voo, como se pode observar na figura 5.31.

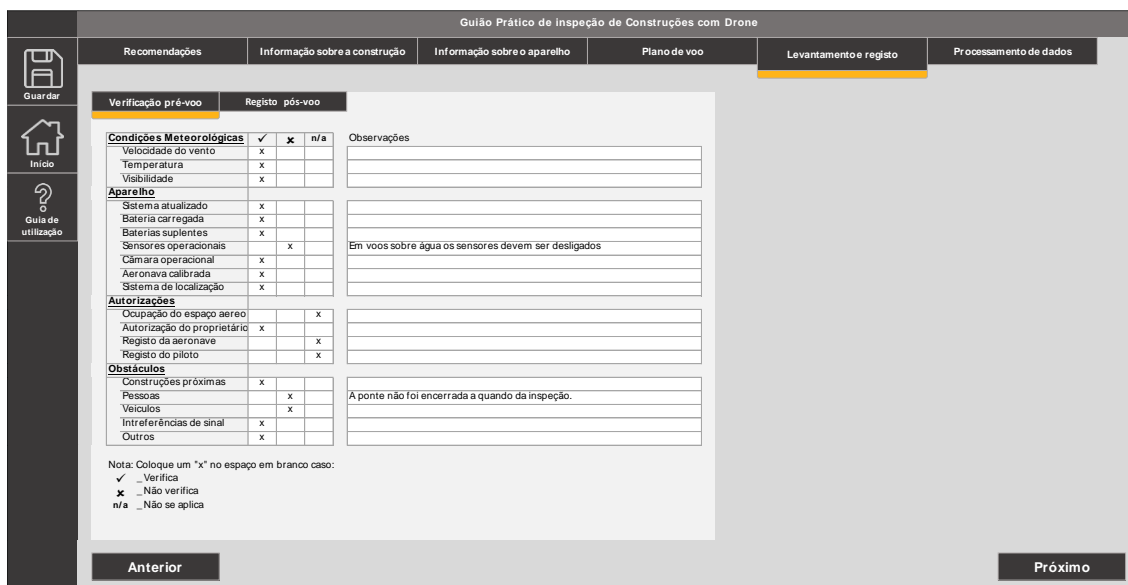


Figura 5.31 – Guia prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcária – Verificações pré voo.

Feitas as verificações e tomadas todas as medidas de precaução procedeu-se à realização das inspeções. De realçar também que a ponte não foi encerrada a quando da inspeção, como tal, por forma a evitar acidentes, o voo sobre a faixa rodoviária era suspenso sempre que houvesse a circulação de veículos ou pessoas.

Após realizadas as inspeções, registaram-se os dados obtidos e as condições nas quais o voo foi realizado (Figura 5.32).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | **Levantamento e registo** | Processamento de dados

Guardar | Início | Guia de utilização

Registo pré-voo | **Registo pós-voo**

Numero de voos efetuados: 2

Voo nº	Data	Hora de início	Hora de fim	Tempo de voo
Voo nº 1	19/07/2020	08:59:00	09:12:03	00:13:03
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		H		Observações:
Numero de fotos registadas:	135	Numero de videos registados:	0	
Velocidade do vento:	1,20 m/s	Humidade:	48,00%	
Direção do vento:	SE-NW	Probabilidade de precipitação:	0,00%	
Visibilidade:	16,00 km	Temperatura:	25,00 °C	
Voo nº 2	18/07/2020	09:15:36	09:28:24	00:12:48
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:		H2		Observações:
Numero de fotos registadas:	58	Numero de videos registados:	0	
Velocidade do vento:	1,20 m/s	Humidade:	45,00%	
Direção do vento:	SE-NW	Probabilidade de precipitação:	0,00%	
Visibilidade:	16,00 km	Temperatura:	25,88 °C	

Anterior | Próximo

Figura 5.32 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Registo pós voo.

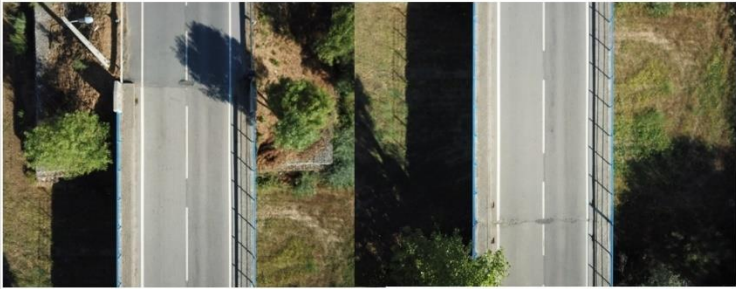
À semelhança do que foi feito no primeiro caso de estudo, após o registo pós voo, foram analisados os dados obtidos e feito o registo das anomalias detetadas (Figuras 5.33, 5.34 e 5.35).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Guardar | Início | Guia de utilização

Principais anomalias detetadas

Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8	
Anomalia registada	Fissuração no pavimento							
							<p>Descrição Regista-se a existência de fissuração transversal e localizada ao nível do pavimento rodoviário.</p> <p>Possíveis causas As fissuras surgem essencialmente nas zonas de encontro de vigas entre cada conjunto de pilares. Falta de juntas de dilatação devidamente colocadas;</p> <p>Soluções de reparação Criação de juntas de dilatação por forma a evitar a fissuração do pavimento.</p>	

Anterior | Próximo | Finalizar

Figura 5.33 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 1.

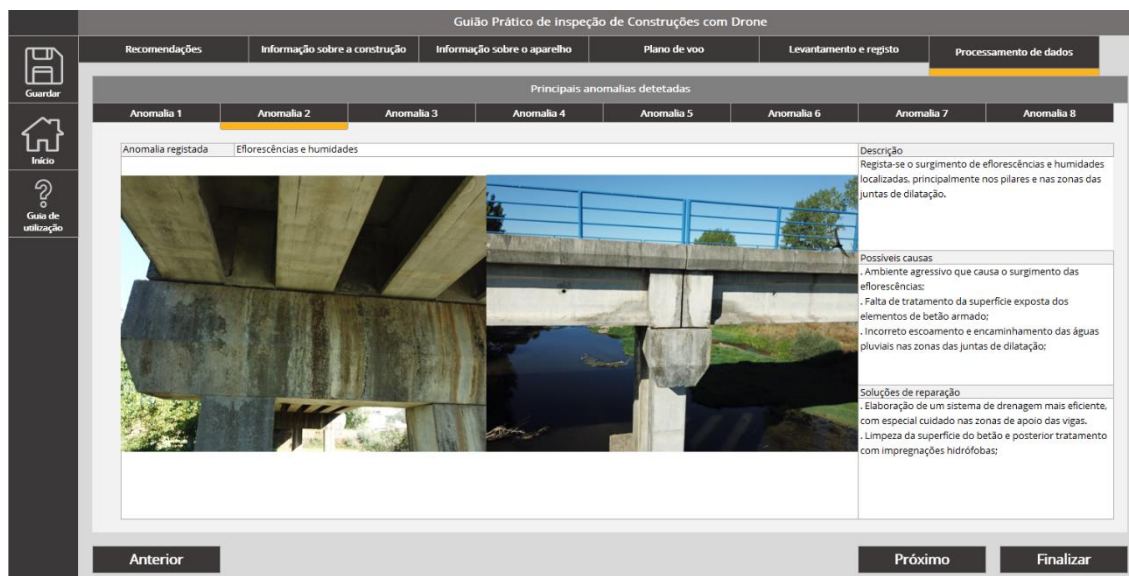


Figura 5.34 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 2.

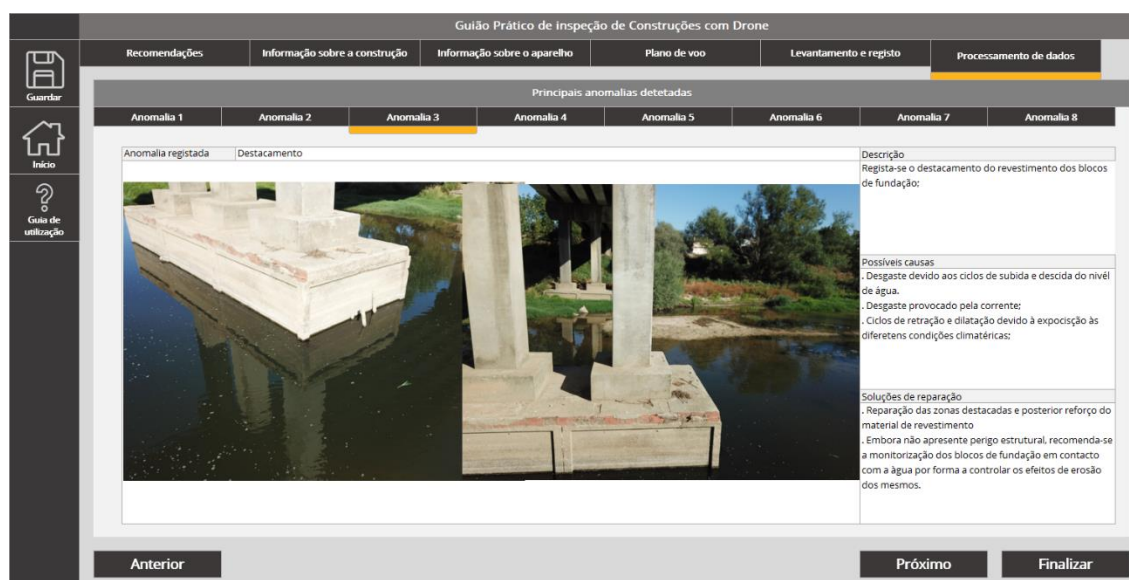


Figura 5.35 – Guião prático – Ponte entre o Dominguiso e Alcaria – Anomalia 3.

A ponte apresenta um bom estado de conservação, sem a presença de anomalias que possam comprometer a segurança da mesma. No entanto, devido principalmente aos fatores ambientais a que a mesma está exposta, verificou-se a presença de algumas patologias na superfície dos elementos de betão armado, nomeadamente humidades e eflorescências. Tal deve-se essencialmente à presença de sais provenientes da infiltração de água, tanto da chuva como do rio que passa na zona inferior da ponte. Além disso registou-se a existência de fissuração transversal no pavimento rodoviário nas zonas de apoio. Esta fissuração deve-se essencialmente à falta de juntas de dilatação no pavimento, fazendo com que o mesmo seja sujeito a tensões provocadas pelos deslocamentos normais da ponte nestas zonas. Tal anomalia é recorrente neste tipo de situações e pode ser facilmente corrigida interrompendo a continuidade do pavimento

nessas zonas criando juntas de dilatação. No entanto importa salientar que nessas zonas deve-se ter especial cuidado a quando da execução do sistema de drenagem, garantindo sempre o correto encaminhamento das águas por forma a não criar acumulação de humidade nestas zonas.

5.3.3 – Edifício de Santo António

Tal como nos outros casos de estudo, começou-se por reunir informação básica sobre o edifício (Figura 5.36).

The screenshot shows the 'Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone' interface. The 'Edifícios' section is active, displaying the following information:

- Tipologia do edifício: Habitacional
- Descrição do edifício: Torre de Sto. António
- Área de implantação: 483.94 m² | Cércua: 55.00 m
- Localização: N230 14, Covilhã
- Data de início de utilização: 27/05/1975 (dd/mm/aaaa) | Idade do edifício: 45 anos | Edifício em funcionamento: Não

Buttons for 'Anterior' and 'Próximo' are visible at the bottom.

Figura 5.36 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação inicial.

Seguidamente inseriu-se informação sobre as fachadas do edifício (Figura 5.37) e sobre a cobertura (Figura 5.38).

The screenshot shows the 'Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone' interface, now displaying facade information. The 'Fachadas' section is active, showing the following data:

Fachadas		Cobertura				
Numero de fachadas		4				
Fachada 1 -	Área	1526.80 m ²	Orientação	Noroeste	Tipo de revestimento	Reboco e pintura
Fachada 2 -	Área	1552.10 m ²	Orientação	Sudeste	Tipo de revestimento	Reboco e pintura
Fachada 3 -	Área	1157.75 m ²	Orientação	Sudoeste	Tipo de revestimento	Reboco e pintura
Fachada 4 -	Área	1342.55 m ²	Orientação	Noroeste	Tipo de revestimento	Reboco e pintura
--						
--						

Buttons for 'Anterior' and 'Próximo' are visible at the bottom.

Figura 5.37 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação sobre as fachadas.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | **Informação sobre a construção** | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | Processamento de dados

Edifícios

Tipologia do edifício: Habitacional
 Descrição do edifício: Torre de Sto. António
 Área de implantação: 483,94 m² | Cércea: 55,00 m
 Localização: N230 14, Covilhã | Localidade: 0
 Data de início de utilização: 27/05/1975 | Idade do edifício: 45 anos | Edifício em funcionamento: Não
 Documentos do edifício

Fachadas | **Cobertura**

Fachadas
 Numero de Coberturas: 1

Cobertura 1 | Área: 547,38 m² | Tipologia: Inclinação | Tipo de revestimento: Elementos Cerâmicos

Anterior | Próximo

Figura 5.38 – Guião prático – Edifício de Santo António – Informação sobre a cobertura.

Tal como referido anteriormente, o aparelho utilizado foi o mesmo dos casos de estudo anteriores, pelo que os aspetos técnicos, tanto do aparelho como da câmara, podem ser consultados nas figuras 5.7 e 5.8.

Relativamente aos parâmetros do plano de voo, também aqui se mantiveram os mesmos utilizados nas outras construções (Figura 5.14), à exceção da inspeção da cobertura, onde se considerou uma maior distância de inspeção. Esta alteração deveu-se ao fato de na zona superior do edifício existirem correntes de ar significativas, o que fazia com que o drone perdesse altitude bruscamente. Assim, por forma a evitar a colisão do mesmo com a cobertura decidiu-se aumentar a distância de inspeção para 5 m, obtendo-se um DOE de 0.17 cm/pixel (Figura 5.39).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | Linha de voo e pontos de controlo

Distância ao objeto: 5,00 m
 DOE (distância ao Objeto de estudo): 0,17

Características para mapeamento por foto

Comprimento	Largura	Área de mapeamento
6,64 m	4,98 m	33,11 m ²

Taxa de sobreposição: 80%
 Intervalo de tempo entre cada foto: 2,00 s
 Tipo de voo: VLOS

Velocidades de voo recomendadas:

Velocidade de voo para mapeamento horizontal
0,66 m/s
2,39 km/h

Velocidade de voo para mapeamento vertical
0,50 m/s
1,79 km/h

Para mapeamentos com registo de vídeo, aconselha-se que as velocidades sejam iguais às indicadas para o mapeamento por foto, independentemente da resolução do vídeo

OSD - Distância real em centímetros a que corresponde cada pixel da imagem, quanto menor este valor, maior detalhe será possível observar na foto.

Tipo de voo

VLOS	BVLOS	EVSLOS
Operação na qual o operador mantém sempre contacto visual com o drone durante todo o voo;	Operação na qual o operador não tem contacto visual com o drone, mesmo com a ajuda de um observador;	Operação na qual o controlador ageira tem contacto visual com o aparelho através de equipamentos auxiliares e não tem contacto visual com o observador;

Anterior | Próximo

Figura 5.39 – Guião prático – Edifício de Santo António – Parâmetros do plano de voo (cobertura).

De seguida definiram-se as coordenadas dos principais pontos de controlo (Figura 5.40) e as respetivas linhas de voo (Figuras 5.41 e 5.42).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | **Plano de voo** | Levantamento e registo | Processamento de dados

Parâmetros do plano de voo | **Linhas de voo e pontos de controlo**

Pontos de controlo | **Linhas de voo**

Nesta secção deve introduzir as coordenadas e descrição de pontos importantes no levantamento devendo indicar o ponto da estação de controlo, pontos de decolagem, pontos de registo fotográfico importantes e pontos de início e fim de gravação de vídeo. Estes pontos devem estar representados na linha de voo tal como no exemplo fornecido.

Estação de controlo	Coordenadas com origem na estação de controlo			Coordenadas UTM [ETRS89]			Descrição
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	
0	0	0	0	626775,189	4459008,197	578,6	
Pontos de controlo							
1	29,39	4,34	5	626804,579	4459012,537	583,6	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 1
2	27,78	5,42	41,03	626802,969	4459013,617	619,63	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 1
H2	0	0	0	626775,189	4459008,197	578,6	Ponto de decolagem - Voo 2
H2.1	-25,39	-9,97	61,36	626749,799	4458998,227	639,96	Início de captura de fotos consecutivas - Voo 2
H2.2	-9,61	19,19	61,36	626765,579	4459027,387	639,96	Fim de captura de fotos consecutivas - Voo 2

Anterior Próxio

Figura 5.40 – Guião prático – Edifício de Santo António – Pontos de controlo.

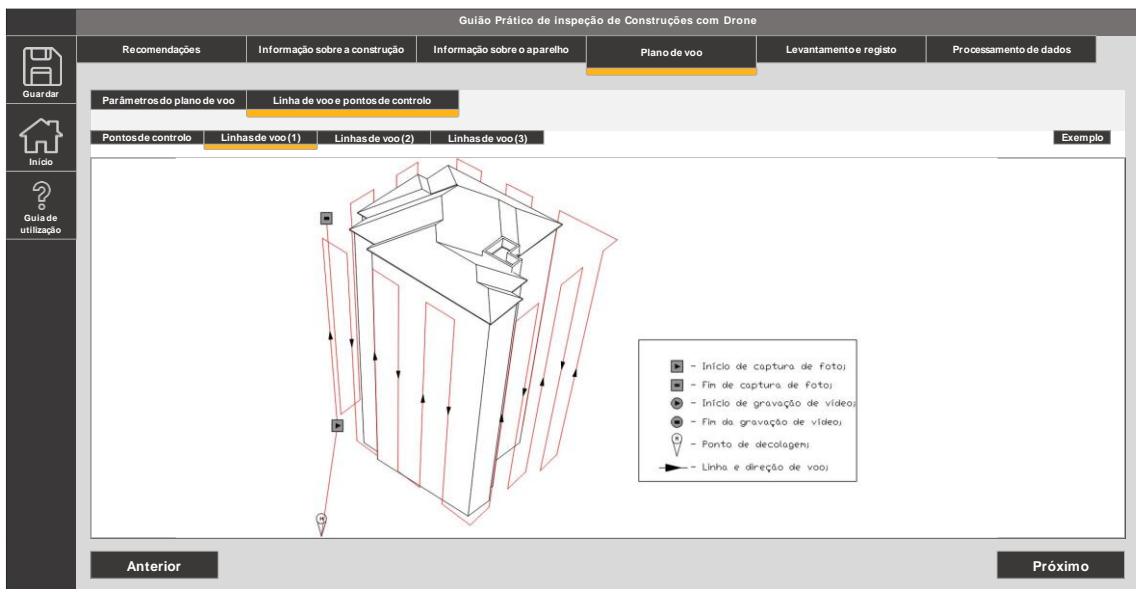


Figura 5.41 – Guião prático – Edifício de Santo António – Linha de voo 1.

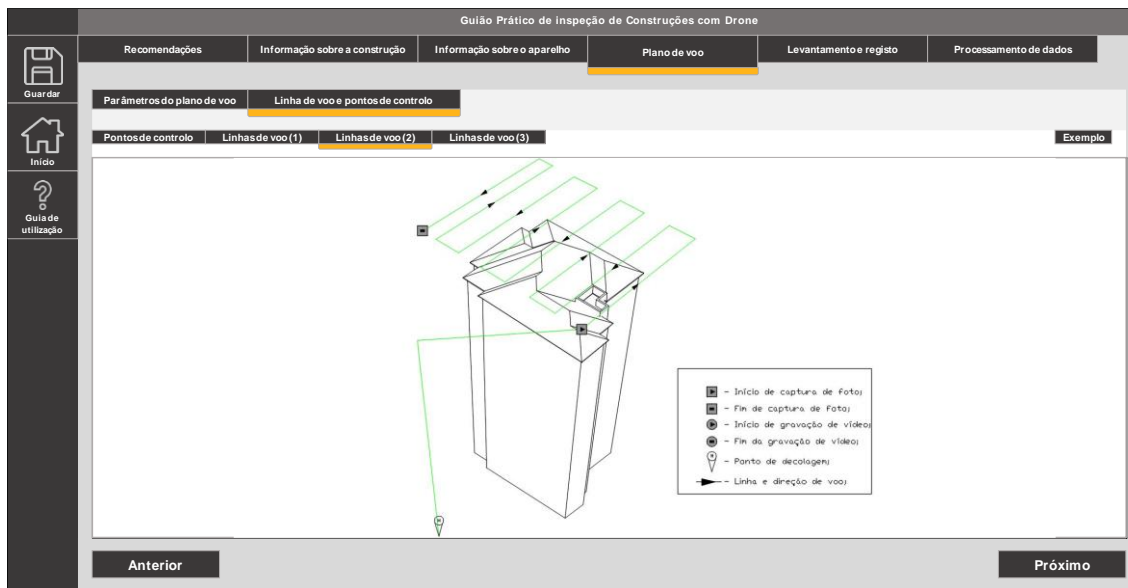


Figura 5.42 – Guião prático – Edifício de Santo António – Linha de voo 2.

De seguida realizaram-se todas as verificações pré voo (Figura 5.43) e seguidamente registaram-se as informações sobre os voos realizados (Figura 5.44).

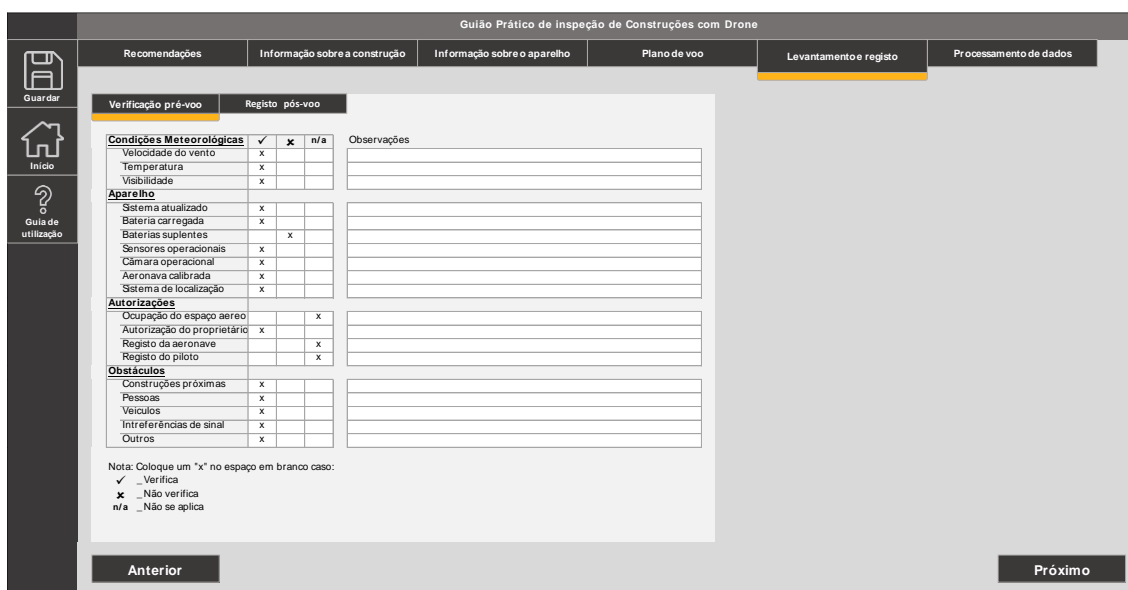


Figura 5.43 – Guião prático – Edifício de Santo António – Verificações pré-voo.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | **Levantamento e registo** | Processamento de dados

Guardar | Início | Guia de utilização

Registo pré-voe | **Registo pós-voe**

Numero de voos efetuados: 2

Voo nº 1	Data:	18/07/2020	Hora de inicio	14:57:31	Hora de fim	15:13:26	Tempo de voo:	00:15:55
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:			H1			Observações:		
Número de fotos registadas:		347	Número de videos registados:		1			
Velocidade do vento:		2,80 m/s	Humidade:		16,00%			
Direção do vento:		S>N	Probabilidade de precipitação:		0,00%			
Visibilidade:		16,00 km	Temperatura:		36,20 °C			

Voo nº 2	Data:	18/07/2020	Hora de inicio	15:20:54	Hora de fim	15:26:03	Tempo de voo:	00:05:09
Ponto de decolagem indicado na linha de voo:			H2			Observações:		
Número de fotos registadas:		36	Número de videos registados:		0			
Velocidade do vento:		2,70 m/s	Humidade:		16,00%			
Direção do vento:		S>N	Probabilidade de precipitação:		0,00%			
Visibilidade:		16,00 km	Temperatura:		36,00 °C			

Anterior | Próximo

Figura 5.44 – Guião prático – Edifício de Santo António – Registo pós voo.


Após efetuados os voos, procedeu-se ao processamento dos dados recolhidos, registando as anomalias observadas (Figuras 5.45, 5.46, 5.47, 5.48 e 5.49).

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Guardar | Início | Guia de utilização

Principais anomalias detetadas

Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Fissuração							
		<p>Descrição Surgimento de fissuras, especialmente nos cantos das aberturas de vãos.</p> <p>Possíveis causas · O facto da construção não estar concluída e a caixilharia não estar colocada pode fazer com que estas fissuras apareçam mais facilmente; · Falta de reforço destas zonas.</p> <p>Soluções de reparação Colocação da caixilharia, reforço das zonas de vãos. Aconselha-se também uma análise estrutural mais detalhada antes de qualquer intervenção por forma a perceber se existem deslocamentos devido a assentamentos de fundação.</p>					

Anterior | Próximo | Finalizar

Figura 5.45 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 1.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Principais anomalias detetadas


Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Infiltrações e humidade							
				<p>Descrição Regista-se a existência de humidade excessiva e infiltrações no revestimento das fachadas.</p> <p>Possíveis causas Esta fachada, especialmente nas zonas onde se regista o surgimento de humidade, devido à sua orientação recebe pouca luz solar, impedido assim que a água que se encontra infiltrada nas paredes evapore. Estas infiltrações devem-se maioritariamente devido ao edifício não estar concluído e existirem muitos vãos ainda abertos. Regista-se também que as varandas não têm um sistema de drenagem concluído, o que faz com que água acumulada nas mesmas.</p> <p>Soluções de reparação Substituição do revestimento por um material com maior capacidade de resistência a variações térmicas. Fecho dos vãos e conclusão dos sistemas de drenagem de águas pluviais por forma a evitar a infiltração e acumulação de água.</p>			
Anterior				Próximo Finalizar			

Figura 5.46 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 2.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Principais anomalias detetadas


Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Destacamento							
				<p>Descrição Regista-se o destacamento do material de revestimento da fachada voltada para Nascente.</p> <p>Possíveis causas ; Incorreta aplicação do material de revestimento; ; Insuficiente capacidade de aderência entre o material de revestimento e os blocos que constituem a parede; ; Grande variação de temperatura devido à fachada se encontrar voltada para nascente, o que provoca a dilatação do material de revestimento e consequente destacamento;</p> <p>Soluções de reparação Substituição do material de revestimento, preferencialmente por um material mais resistente a variações de temperatura; Substituição do tipo de parede, colocando blocos que garantam uma melhor aderência ao revestimento;</p>			
Anterior				Próximo Finalizar			

Figura 5.47 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 3.

Guião Prático de Inspeção de Construções com Drone

Recomendações | Informação sobre a construção | Informação sobre o aparelho | Plano de voo | Levantamento e registo | **Processamento de dados**

Principais anomalias detetadas


Anomalia 1	Anomalia 2	Anomalia 3	Anomalia 4	Anomalia 5	Anomalia 6	Anomalia 7	Anomalia 8
Anomalia registada: Graffiti							
				<p>Descrição Regista-se a existência de pinturas não autorizadas nas fachadas do edifício.</p> <p>Possíveis causas ; Vandalismo e falta de segurança.</p> <p>Soluções de reparação Estando o edifício abandonado, uma das soluções para evitar o mesmo tipo de danos no futuro já foi tomada que seria impedir o acesso ao edifício através dos pisos inferiores. Como medida de reparação deve-se realizar a limpeza das zonas afetadas através da remoção das gravuras e pintar as mesmas com tinta com elevada resistência química.</p>			
Anterior				Próximo Finalizar			

Figura 5.48 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 4.

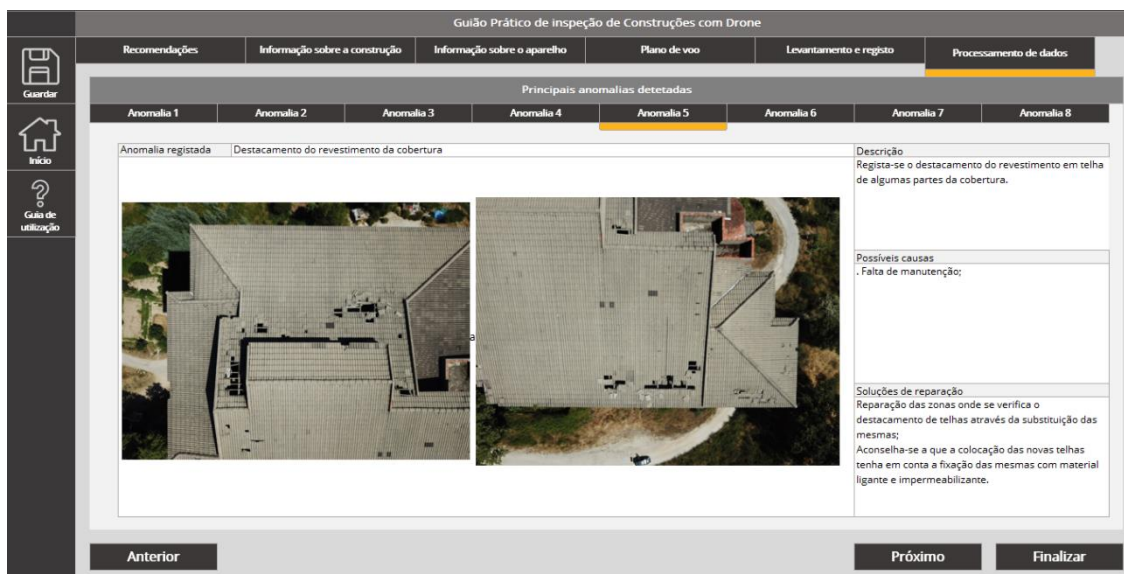


Figura 5.49 – Guião prático – Edifício de Santo António – Anomalia 5.

De todos os casos de estudo aplicados ao guião prático, esta construção é a que apresenta maior estado de degradação. Isso deve-se ao facto de o edifício ter sido abandonado ainda na fase de construção e com o passar dos anos foi-se degradando. Em termos de reparação da construção seria necessário realizar uma análise estrutural por forma a perceber se a estrutura se encontra capaz de receber as cargas de utilização para as quais foi concebida, ou caso a utilização do mesmo se altere, verificar a necessidade de realizar um reforço estrutural.

Outra possibilidade é a demolição completa da construção, uma vez que pode ser inviável economicamente a reabilitação da mesma devido ao elevado estado de degradação.

5.3.4 – Chaminé do polo principal da Universidade da Beira Interior

Este caso de estudo teve principal interesse uma vez que a chaminé a inspecionar se situa por cima de uma cobertura. No caso de ter de se realizar uma inspeção visual detalhada a toda a envolvente da construção, seria necessária a colocação de estruturas auxiliares, o que seria extremamente complicado de fazer em cima da cobertura existente. Na impossibilidade de colocar essas estruturas, teria que se utilizar um veículo especial como uma auto-grua que, fosse capaz de aproximar o inspetor à parte superior da chaminé. De certo modo tornar-se-ia inviável realizar a inspeção sem a utilização de drone, pois além de dispendiosa também acarretaria algum risco associado.

Tal como nos outros casos de estudo, iniciou-se por inserir informação sobre a construção a inspecionar (Figura 5.50).

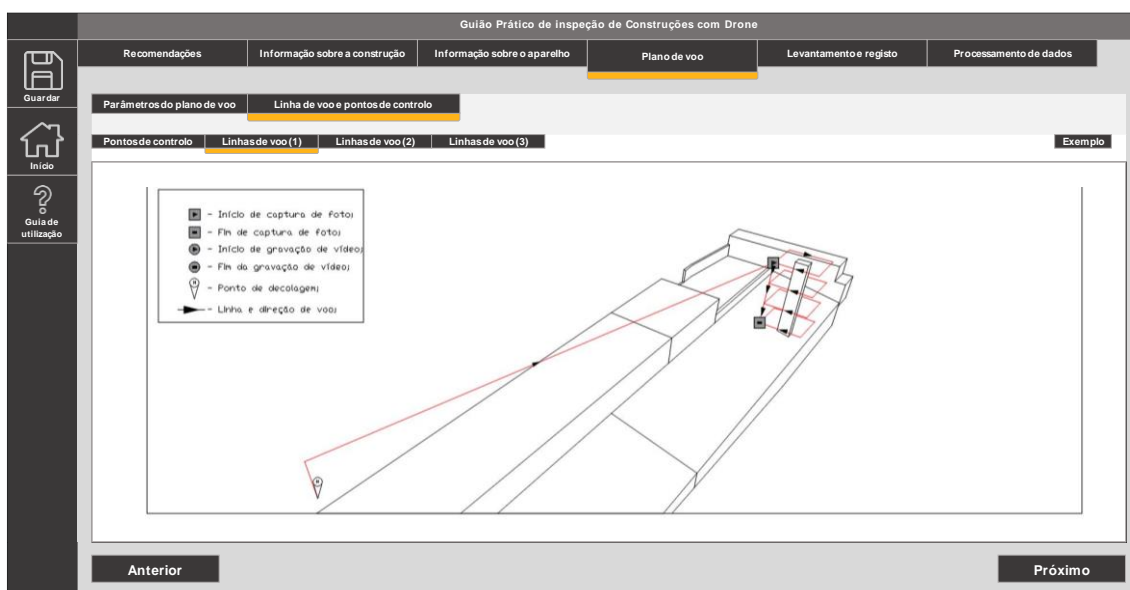


Figura 5.52 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Linha de voo.

De seguida, foi realizada a inspeção, tendo-se realizado previamente as verificações pré voo (Figura 5.53). Após o voo foram registados os dados das condições nas quais se realizou o voo e os respetivos dados recolhidos (Figura 5.54)

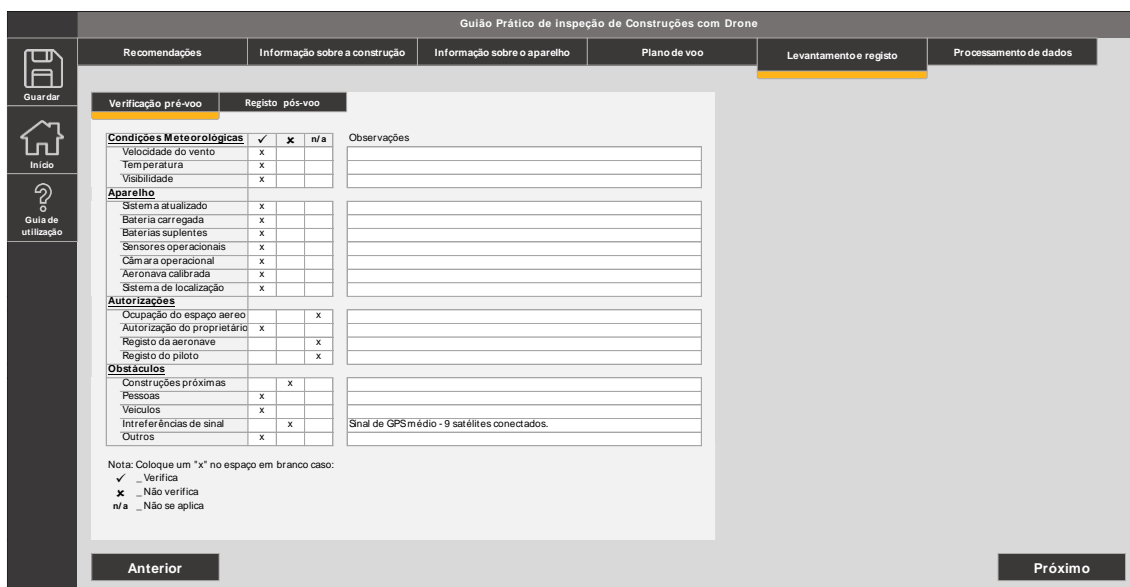


Figura 5.53 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Verificação pré voo.

Importa referir que a quando da inspeção, o sinal de GPS enfraqueceu, passando de 12 satélites conectados para 9. Tal situação não apresentou risco para o controlo do aparelho e por isso prosseguiu-se com a inspeção, no entanto foi registado tal acontecimento.

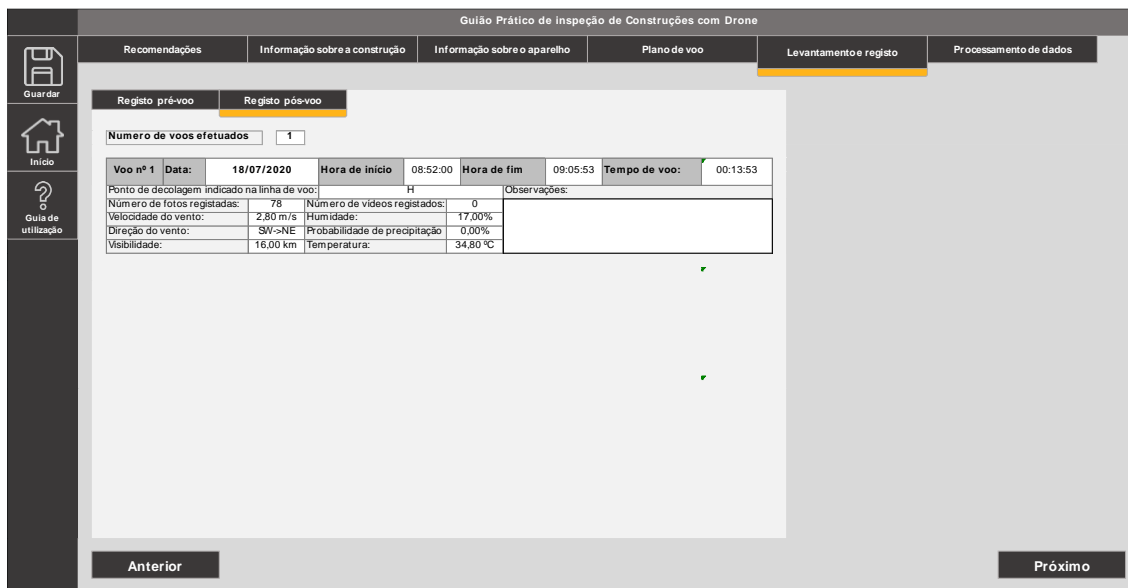


Figura 5.54 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Registo pós voo.

Após efetuada a inspeção, analisaram-se os dados recolhidos e registaram-se as anomalias verificadas (Figuras 5.55 e 5.56).

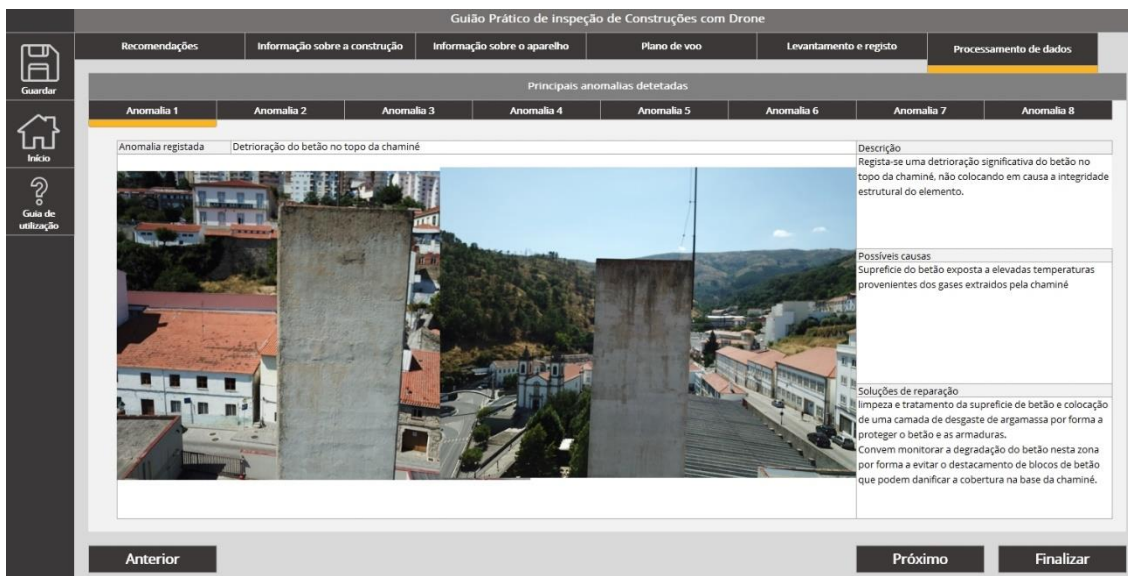


Figura 5.55 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Anomalia 1.

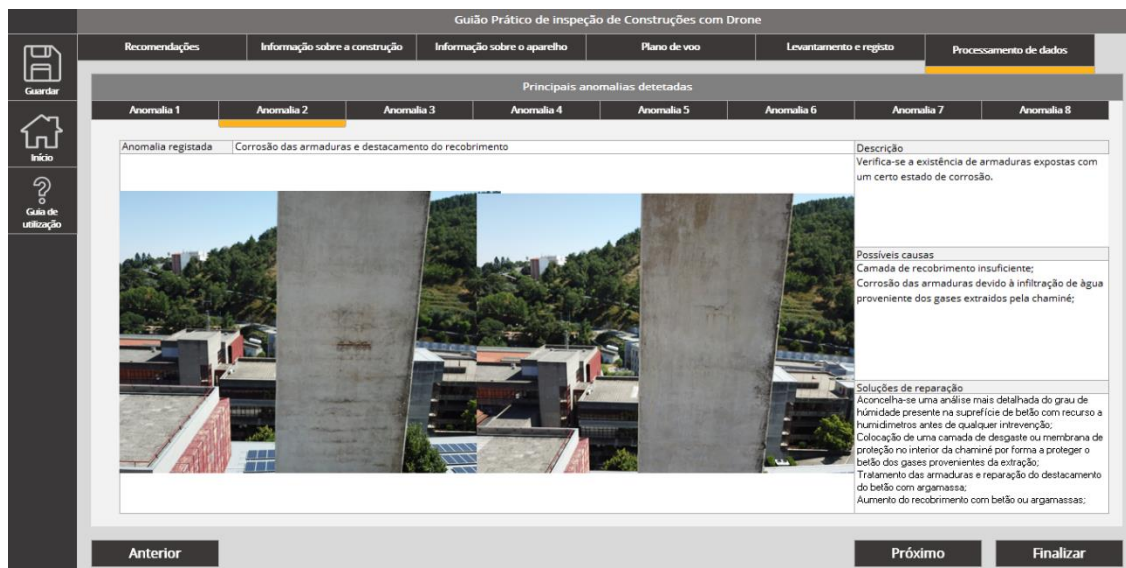


Figura 5.56 - Guião prático – Chaminé do polo principal da UBI – Anomalia 2.

5.4 Notas finais

Os casos de estudo apresentados serviram não só para demonstrar a eficácia do uso de drones na inspeção visual de diferentes tipos de construção, mas também para mostrar que a organização e preparação prévia da inspeção com drone pode resultar em dados com maior qualidade e rigor. Por outro lado, considerando que a utilização de drones tem também associados alguns riscos, o efeito de prevenção induzido pela utilização da metodologia proposta pode contribuir em grande medida para a diminuição e maior controle desses riscos.

Relativamente aos dados obtidos, o facto de estes apresentarem uma elevada resolução permite que no pós processamento se identifiquem anomalias que, por vezes, no local não são detetadas pelo olho humano. Além disso, garantir que toda a envolvente da construção é inspecionada, diminui a probabilidade de não registar alguma anomalia que pudesse passar despercebida, algo que geralmente acontece em construções de grande dimensão e difícil acesso ao utilizar meios de inspeção visual tradicionais. Este registo completo da envolvente permite também estimar com maior certeza o nível de degradação da construção.

Importa realçar a rapidez com que se efetuaram os levantamentos. A possibilidade de efetuar inspeções num curto espaço de tempo, quando comparado com meios tradicionais, traduz-se numa diminuição significativa dos custos associados à mesma. No entanto, a análise dos dados obtidos pode ser mais demorada devido à grande quantidade de registos que se obtém do levantamento.

Estes aparelhos apresentam também uma forma de realizar inspeções sem que seja necessário interromper por completo a utilização da construção, salvo os casos em que a presença do drone pode representar um perigo para os seus utilizadores. No entanto nessas situações, como no caso do levantamento efetuado à ponte sobre a Ribeira da Carpinteira, é possível afastar o drone da construção e interromper o levantamento sempre que este apresente um perigo para os utilizadores da mesma, podendo retomar os trabalhos quase de imediato assim que se verifique a ausência de perigo. Tal só é possível devido à elevada agilidade destes aparelhos, o que por si só representa uma vantagem significativa relativamente aos meios normalmente utilizados para a inspeção deste tipo de construções.

Como nota final, é importante perceber que a inspeção visual por si só não serve para dar indicações objetivas em casos mais complexos. Esta serve como uma base inicial para perceber que tipos de inspeção mais detalhada e ensaios podem ajudar a encontrar a origem da anomalia e posteriormente tomar medidas de reparação mais pormenorizadas.

Capítulo 6

6. Avaliação económica da aplicação de drones na inspeção visual

6.1 Comparação de custos de inspeção tradicional e inspeção com drone

Por forma a que uma intervenção de reabilitação seja viável, não só é necessário avaliar de forma correta o grau de degradação da mesma, mas também perceber quais os custos associados a todos os trabalhos necessários, desde a inspeção à execução dos trabalhos de reparação e reabilitação.

Como referido anteriormente, a inspeção visual inicial é um trabalho de extrema importância dentro do processo de reabilitação de uma construção. É nesta fase que se identificam as principais anomalias e se elabora um panorama geral do estado de conservação da mesma. É também a partir desta inspeção inicial que se retiram dados que permitem tomar a decisão de avançar, ou não, para inspeções mais detalhadas e consequentemente mais dispendiosas. Por isso, uma inspeção visual detalhada de toda a envolvente da construção pode mais à frente reduzir em muito o custo global da reabilitação, evitando trabalhos desnecessários.

Por forma a que a inspeção visual seja detalhada e tenha qualidade suficiente, são muitas vezes necessários meios dispendiosos, principalmente na inspeção de construções de difícil acesso, como os casos de estudo apresentados no capítulo anterior. Neste contexto, os drones apresentam-se como uma ferramenta que pode reduzir muito os custos dos trabalhos de inspeção.

De maneira a quantificar e perceber como estes aparelhos podem reduzir esses custos, fez-se uma análise comparativa, tendo por base alguns dos casos de estudo apresentados anteriormente, entre os custos de uma inspeção com recurso a meios tradicionais e a inspeção com recurso a drones. Para tal consideraram-se dois dos casos apresentados anteriormente, a ponte sobre a Ribeira da Carpinteira e o edifício de Santo António.

De referir que para termos de comparação, os trabalhos considerados apontam para um igual nível de qualidade e pormenor de registo, tal influenciou na escolha do tipo de equipamento a considerar na inspeção visual tradicional.

6.2.1 – Custos de inspeção visual tradicional – ponte sobre a Ribeira da Carpinteira

A inspeção visual desta ponte através de meios tradicionais apresenta ser um desafio devido principalmente à sua dimensão tipologia. Devido a ser uma ponte pedonal, não é possível utilizar auto gruas para inspecionar a parte inferior do tabuleiro, pelo que a única solução seria a montagem de andaimes junto dos pilares da ponte por forma a inspecionar com detalhe os mesmos.

Para a obtenção dos custos associados ao aluguer e montagem/desmontagem dos andaimes utilizou-se o software CYPE®, software desenvolvido pela empresa espanhola Cype Ingenieros, S.A. uma empresa espanhola com mais de 30 anos de experiência em arquitetura, engenharia e construção, especializada em software adaptado a estas áreas. O software inclui a possibilidade de verificar produtos de diversos fabricantes e produtos genéricos. A diferença relativamente a outros bancos de preços é que o gerador de preços para construção civil da CYPE Ingenieros tem em conta as características concretas de cada obra para gerar preços específicos para o orçamento do projeto em causa, possibilitando deste modo a escolha do tipo de obra através das três opções possíveis “Obra nova”, “Reabilitação” e “Espaços urbanos”, conforme se faz representar na figura 6.1 [62].



Figura 6.1 – Software utilizado para a estimativa de preços

Para a quantificação dos trabalhos considerou-se a área de cada face dos dois pilares centrais, que resultou em cerca de 854 m² e foram considerados 7 dias para a totalidade dos trabalhos de inspeção, desde a montagem à desmontagem dos andaimes.

Importa referir que o software não apresenta o cálculo do rendimento considerado, no entanto o mesmo leva em consideração atualizações feitas ao programa com base nos países e zonas de utilização do mesmo e também informações fornecidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Na tabela 6.1 encontra-se de forma

detalhada os valores para cada um dos trabalhos descritos em cima e o valor global da inspeção para a construção considerada.

Tabela 6.1 – Custo da inspeção visual tradicional aos pilares centrais da ponte sobre a ribeira da carpinteira.

Custo global da inspeção visual tradicional – Ponte sobre a Ribeira da Carpinteira					
Aluguer de andaime tubular de fachada.					
Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	Ud	Aluguer, durante 4 dias úteis, de andaime tubular normalizado, até 51 m de altura máxima de trabalho, composto por plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas a cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para a inspeção das fachadas de pilares num total de 854 m ² .	4.424,700	0,09	381.84
				Total:	381.84

Montagem e desmontagem de andaime tubular de fachada.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	Ud	Repercussão, por m ² , de montagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional, de 51 m de altura máxima de trabalho, composto de plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquiteiro monofilamento, de polietileno 100%.	989,957	6,30	6.236,73
	Ud	Repercussão, por m ² , de desmontagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional, de 51 m de altura máxima de trabalho, composto de plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquiteiro monofilamento, de polietileno 100%.	989,957	4,11	4.068,72
				Total:	10.305,45

Relatório técnico sobre patologias de construções

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Tratamento dos dados obtidos e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	6,00	50.24	301.44

Trabalhos de inspeção aos pilares centrais da ponte	Total:	10.988,70
------------------------------------------------------------	---------------	------------------

6.2.2 – Custos de inspeção visual com drone – ponte sobre a Ribeira da Carpinteira

Para a avaliação dos custos de uma inspeção visual com recurso a drone é necessário levar em consideração alguns fatores como:

- Grau de complexidade da linha de voo a efetuar – Quanto maior a extensão da linha de voo maior o desgaste associado ao equipamento. Além do desgaste, deve-se levar em consideração o grau de risco para o equipamento, visto que existem construções nas quais a probabilidade de acidente é maior, principalmente quando a linha de voo requer o posicionamento do drone em zonas de risco como a parte inferior do tabuleiro de uma ponte ou a proximidade a outras construções adjacentes.
- Duração da inspeção – Tal como na inspeção visual através de métodos tradicionais, o tempo de utilização do equipamento tem um custo e como tal essa tem que existir uma parcela do custo total da inspeção que tenha em consideração o tempo durante o qual o aparelho irá ser utilizado.
- Custos associados a licenças e seguros – Em alguns casos pode ser obrigatório a criação de um seguro de responsabilidade civil ou de uma licença especial de utilização por forma a executar determinado voo, geralmente não existem custos adicionais para o requerimento de licenças de utilização, no entanto importa referir que os mesmos devem ser considerados caso existam.

Por forma a realizar uma comparação equilibrada, considerou-se o aluguer do drone tendo por base preços de mercado. Visto que no cálculo dos custos apresentados para a inspeção visual tradicional apenas se considerou a inspeção dos pilares da ponte, também na inspeção com recurso a drone se irá considerar apenas a inspeção dos pilares da centrais da ponte.

Relativamente à complexidade da linha de voo, embora junto dos pilares não existissem obstáculos que pudessem por em risco o voo junto dos mesmos considera-se, no entanto, que se tratou de um voo com algum nível de risco. Isto porque a ponte localiza-se numa zona onde existem correntes de vento pontuais capazes de descontrolar o drone, principalmente junto à zona inferior do tabuleiro. Levando em consideração a proximidade do drone à face dos pilares, deve assim ter-se em consideração um certo fator de risco. Em termos de contabilização desse fator, propôs-se que este fosse representado em forma percentual tendo em conta a complexidade da linha de voo e a complexidade do aparelho usado. Tal fator permite que aparelhos mais complexos e consequentemente mais caros possam ter uma maior margem de segurança na

eventualidade de terem de ser reparados. Na tabela 6.2 são apresentados os fatores propostos considerados no valor total do trabalho de inspeção.

Tabela 6.2 – Fator de risco a ter em consideração no custo de utilização com base na complexidade do aparelho e no risco associado à linha de voo.

<i>Complexidade da linha de voo</i>	<i>Baixa</i>	<i>Média</i>	<i>Alta</i>
<i>Complexidade do drone</i>			
Básico	0.05	0.1	0.15
Intermédio	0.1	0.15	0.20
Avançado	0.15	0.20	0.25

Para o caso de estudo em questão, considerou-se um aparelho de complexidade básica e uma linha de voo de médio risco, utilizando assim um fator de risco de 0.1. Através da observação dos preços praticados no mercado para o aluguer de um drone, elaborou-se a tabela 6.3 na qual se define um preço por hora para o aluguer de um drone e respetivo operador tendo em conta a sua complexidade. Em termos de tempo de utilização, tendo por base o caso de estudo efetuado, verificou-se que para efetuar a inspeção e registo dos pilares centrais da ponte foram necessários 13:39 minutos, tal como se pode observar no registo pós voo da linha 2 (Figura 5.21), no entanto considerou-se o aluguer para um dia inteiro de trabalho.

Tabela 6.3 – Custo por hora de aluguer de drone e operador tendo em conta a complexidade do equipamento.

	<i>Complexidade do drone</i>		
	<i>Básica</i>	<i>Intermédia</i>	<i>Avançada</i>
Custo por hora	30-40 €/h	40-70 €/h	70-90 €/h

Assim, tendo em conta os parâmetros definidos anteriormente e adicionando também um custo para a elaboração de um relatório final de inspeção, elaborou-se na tabela 6.4 o cálculo do custo do aluguer do drone para realizar a inspeção visual dos dois pilares centrais da ponte.

Levando em consideração que o tratamento e compilação dos dados obtidos pelo drone requer mais tempo, principalmente devido ao maior número de dados coletados e por estes poderem ter que ser tratados em programas que requerem uma maior capacidade técnica, considerou-se um valor superior ao considerado para a elaboração de um relatório final através de dados obtidos com auxílio de métodos tradicionais.

Tabela 6.4 – Custo do aluguer de drone e respetivo operador por dia de trabalho.

Aluguer de drone

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Aluguer de drone de baixa complexidade por hora de trabalho.	8,00	35,00	280,00
Fator de risco					0,1
			Total:		308,00

Relatório técnico sobre patologias de construções

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Tratamento dos dados obtidos e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	8,00	50,24	401,92

Trabalhos de inspeção aos pilares centrais da ponte			Total:		709,92
------------------------------------------------------------	--	--	---------------	--	--------

6.2.3 – Custos de inspeção visual tradicional – Edifício de Santo

António

À semelhança da comparação de custos anterior, também neste caso de estudo se considerou que por forma a avaliar com pormenor as patologias existentes na fachada do edifício o equipamento mais adequado seria a utilização de andaimes. Visto que neste caso existe a possibilidade de inspecionar certas zonas da fachada através do acesso às varandas e janelas de cada piso, apenas se considerou a colocação de andaimes nas zonas de difícil acesso. Como tal a área de colocação de andaimes considerada para este caso de estudo foi de 630 m². Na tabela 6.5 apresenta-se o cálculo do custo total do uso de andaimes para realizar a inspeção.

Tabela 6.5 – Custo da inspeção visual tradicional às fachadas do edifício de Santo António.

Custo global da inspeção visual tradicional – Ponte sobre a Ribeira da Carpinteira					
Aluguer de andaime tubular de fachada.					
Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	Ud	Aluguer, durante 4 dias úteis, de andaime tubular normalizado, até 51 m de altura máxima de trabalho, composto por plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas a cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para a inspeção das fachadas de pilares num total de 854 m ² .	4.424,700	0,09	381,84
			Total:		381,84

Montagem e desmontagem de andaime tubular de fachada.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	Ud	Repercussão, por m ² , de montagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional, de 51 m de altura máxima de trabalho, composto de plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquiteiro monofilamento, de polietileno 100%.	730,296	6,30	4.600,86
	Ud	Repercussão, por m ² , de desmontagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional, de 51 m de altura máxima de trabalho, composto de plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra; para execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquiteiro monofilamento, de polietileno 100%.	730,296	4,11	3.001,52
				Total:	7.602,38

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Tratamento dos dados obtidos e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	6,00	50,24	301,44

Trabalhos de inspeção aos pilares centrais da ponte	Total:	8.285,66
------------------------------------------------------------	---------------	-----------------

6.2.4 – Custos de inspeção visual com drone – edifício de Santo António

Levando em consideração que a inspeção em causa foi regida por uma linha de voo bem mais simples que a considerada no caso anterior e que também a zona onde a inspeção se efetuou não apresentava grandes riscos para o drone, considerou-se um fator de risco de 0.05, correspondente ao aluguer de um drone de baixa complexidade e uma linha de voo de baixo risco. Na tabela 6.6 foi calculado o valor do aluguer do drone para um dia de trabalho.

Tabela 6.6 – Custo do aluguer de drone e respetivo operador por dia de trabalho.

Aluguer de drone

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Aluguer de drone de baixa complexidade por hora de trabalho.	8,00	35,00	280,00
Fator de risco					0,05
			Total:		294,00

Relatório técnico sobre patologias de construções

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
	h	Tratamento dos dados obtidos e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	8,00	50,24	401,92

Trabalhos de inspeção aos pilares centrais da ponte	Total:	695,92
------------------------------------------------------------	---------------	--------

6.2 Resultados obtidos

Claramente o que chama de imediato à atenção é a grande diferença de custo entre a inspeção visual com recurso a meios tradicionais, neste caso andaimes, e a inspeção visual com recurso a drones.

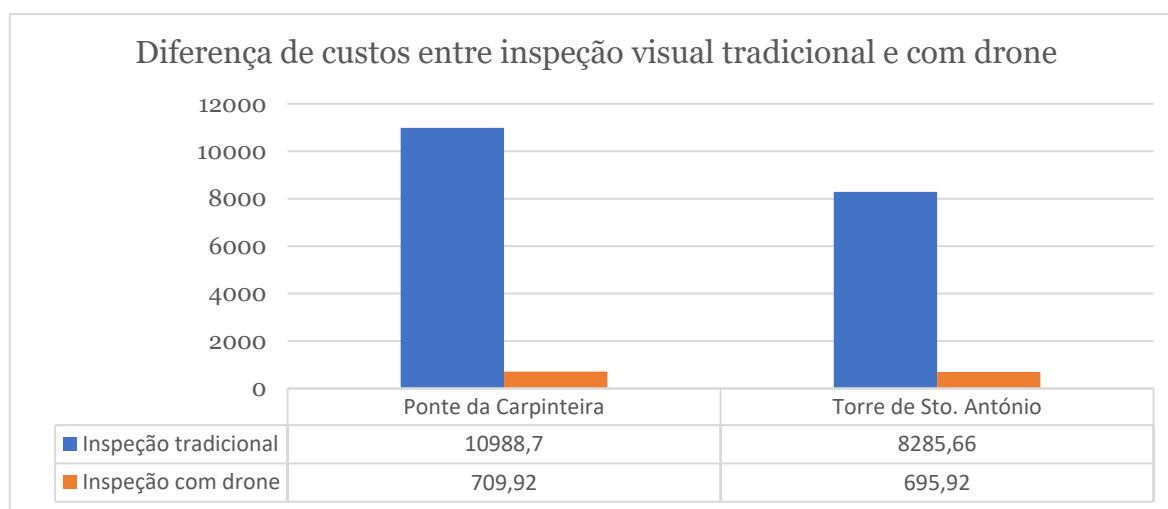


Figura 6.2 – Diferença de custo entre a inspeção visual tradicional e com recurso a drone

Como se pode observar na figura 6.2, no caso da ponte sobre a Ribeira da Carpinteira, a inspeção visual com recurso a drone tem um custo cerca de 15 vezes inferior quando comparado com a inspeção visual com recurso a métodos tradicionais. Já no caso do edifício de Santo António, verifica-se um custo cerca de 12 vezes inferior quando comparado com a utilização de andaimes para a inspeção visual. Esta diferença deve-se

principalmente ao facto de a inspeção visual através da utilização de meios tradicionais ser mais complexa quando comparada com a utilização de drones.

Além da diferença significativa de custos é importante também analisar o tempo despendido para efetuar as diferentes inspeções. No primeiro caso, consideraram-se quatro dias úteis de trabalho, levando em consideração que os trabalhos de inspeção seriam efetuados ao mesmo tempo que eram montados os andaimes, já na inspeção efetuada com o drone, embora no custo tenha sido considerado um dia inteiro de aluguer, a inspeção dos pilares centrais propriamente dita durou apenas cerca de 13 minutos (Figura 5.21). No segundo caso também se consideraram 4 dias úteis de trabalho, levando também em consideração que os trabalhos de inspeção seriam efetuados à medida que os andaimes seriam montados, já a inspeção com o drone de toda a envolvente do edifício demorou cerca de 16 minutos (Figura 5.43). Importa referir, no entanto, que o tempo necessário para processar e trabalhar os dados obtidos pelo drone é superior ao tempo necessário para tratar os dados obtidos através dos meios tradicionais.

Estas diferenças na duração da inspeção não só representam uma eficácia significativamente superior na utilização dos drones, mas também servem para mostrar que o transtorno causado pela montagem de estruturas auxiliares é muito maior, devido a condicionarem a utilização da construção por longos períodos de tempo.

6.4 Notas finais

A ligação entre o utilizador e a manutenção é revelada pela inspeção. Mediante o tipo de estratégia de manutenção definido no plano de manutenção, uma inspeção pode ser realizada devido a uma reclamação do utilizador, no caso de uma estratégia de manutenção corretiva, ou a uma tarefa pré-determinada, quando se trata de uma estratégia de manutenção preditiva [62].

Muitas vezes, devido à complexidade das construções e o difícil acesso a certas zonas das mesmas, torna-se necessário utilizar equipamentos auxiliares como andaimes, veículos especiais etc. Estes equipamentos, além do risco para quem os utiliza, têm um custo elevado que por vezes não justifica a sua utilização, principalmente apenas para inspeções visuais correntes.

Os drones inserem-se neste contexto como sendo uma ferramenta de baixo custo, como se pode concluir da análise comparativa feita anteriormente e que permite realizar inspeções visuais de uma forma mais expedita, com a mesma ou mais qualidade quando

comparados com os métodos tradicionais. Como se pode observar, além de uma redução de custos cerca de 50 vezes inferior comparativamente ao equipamento auxiliar tradicionalmente utilizado, também o tempo de inspeção é significativamente inferior, com uma redução de tempo equivalente a 3 dias de trabalho.

Esta redução de custo e tempo permite realizar inspeções visuais de forma mais regular, o que permite a deteção de anomalias ainda numa fase precoce do seu desenvolvimento, permitindo a sua reparação a um custo inferior e prevenindo o surgimento de anomalias mais graves.

Capítulo 7

7. Conclusão e trabalhos futuros

7.1 Principais conclusões

A inspeção regular de construções é a única forma de garantir o bom funcionamento das mesmas durante toda a sua vida útil. Em certos tipos de construção, como pontes e edifícios altos, é frequente que a inspeção visual não englobe toda a envolvente da mesma, devido a serem construções de grande dimensão e com zonas de difícil acesso.

Conseguir aceder a estas zonas e efetuar uma inspeção detalhada é muitas vezes dispendioso, moroso e arriscado, visto serem necessários equipamentos especiais para que o inspetor consiga chegar até elas com a proximidade necessária por forma a realizar a inspeção detalhadamente. Isto faz com que as inspeções visuais a construções com zonas de difícil acesso, que deveriam ser feitas de forma regular, frequentemente negligenciadas e postas de parte devido a se tornarem economicamente inviáveis e apresentarem riscos demasiado elevados para quem as realiza.

Os drones surgem assim como um equipamento dotado de tecnologia e características que permitem ultrapassar essas dificuldades. Além do baixo custo de utilização, os drones permitem inspecionar toda a envolvente de uma construção com um elevado nível de segurança. No entanto, apesar do considerável número de trabalhos realizados que apresentam metodologias para a realização de inspeções com drones e quais os principais fatores e condicionantes a ter em conta, na prática ainda se verifica uma certa falta de preparação e controlo dos fatores que influenciam no voo e nos dados obtidos.

Por forma a minimizar o efeito de algumas condicionantes que na prática podem surgir, realizou-se um guião para a utilização de drones na inspeção visual. Este guião tem como objetivo principal servir de ferramenta auxiliar, tanto para o técnico responsável pela inspeção, como o operador do aparelho, permitindo registar as principais informações sobre a construção e sobre a inspeção a realizar, bem como fornecer dados e recomendações importantes sobre como a inspeção deve ser executada.

A aplicação deste guião aos casos de estudo permitiu confirmar na prática o que a bibliografia em geral refere, nomeadamente que um drone pode ser uma ferramenta extremamente útil, capaz de realizar inspeções que, com meios tradicionais, poderiam demorar dias a realizar, enquanto que com o auxílio de drones as mesmas inspeções levam minutos a ser executadas.

Efetivamente, organizar e preparar os voos, sabendo previamente quais os principais pontos de registo, ter noção de como a linha de voo deve ser executada e levar em consideração os principais parâmetros que influenciam a qualidade da inspeção no geral, faz com que esta seja executada mais rapidamente, com maior segurança e com resultados de maior qualidade.

Importa referir que, embora hoje em dia existam drones capazes de voar em espaços fechados permitindo a inspeção do interior de construções, o guião prático elaborado apenas serve para a inspeção da envolvente exterior da construção, visto que para voos interiores é necessário considerar outro tipo de fatores que não são tidos em conta no âmbito deste trabalho. Além disso, para que este guião seja capaz de contribuir para a melhor utilização de drones em inspeções é importante que o seu utilizador siga todas as recomendações indicadas e que cumpra todas as etapas nele especificadas.

Dos casos de estudo efetuados, salientam-se a ponte sobre a Ribeira da Carpinteira e da ponte entre Alcaria e o Dominguiso, onde o drone mostrou ser especialmente útil na inspeção da zona inferior das pontes. As anomalias aqui registadas apenas poderiam ser detetas pelo olho humano a uma distância que só poderia ser alcançada com o uso de gruas, andaimes ou no caso da ponte entre as freguesias de Alcaria e do Dominguiso, com o uso de embarcações. Embora estas não apresentassem anomalias importantes e apresentassem um bom estado de conservação geral, o facto de se terem realizadas as duas inspeções num curto espaço de tempo, como se pode observar nas figuras 5.21 e 5.31, só por si comprova a eficácia dos mesmos neste tipo de trabalhos.

No entanto há que levar em consideração que estes aparelhos também têm as suas limitações, nomeadamente devido ao facto de ser uma tecnologia relativamente recente. Essas limitações centram-se essencialmente na autonomia de voo, sendo que cada bateria têm uma duração, em média, de 25 minutos dependendo do aparelho, o que pode apresentar uma limitação para a realização de inspeções a construções de maior escala. Uma outra limitação que importa referir é que estes aparelhos, sendo aeronaves, são muito sensíveis a colisões, podendo os obstáculos existentes nas proximidades da

construção a inspecionar representarem uma limitação para a realização da inspeção como por exemplo edifícios, árvores, etc.

Da análise económica foi possível concluir que os drones têm um custo de utilização significativamente mais baixo quando comparados com a utilização de outros meios de auxílio à inspeção visual. A análise efetuada levou em consideração tanto o tipo de drone como a complexidade de voo que o mesmo teria que realizar por forma a envolver toda a construção através da definição de um fator de risco. Foi também estabelecido que o nível de detalhe de ambas as inspeções teria que ser semelhante. Para tal, no caso das inspeções com meios tradicionais, escolheu-se a utilização de andaimes, visto ser o único equipamento que pudesse auxiliar o inspetor a obter a proximidade necessária à envolvente da construção por forma a obter um nível de detalhe semelhante ao conseguido através da utilização de drones. Embora as comparações tenham sido feitas apenas considerando a alternativa de andaimes, efetivamente no caso do edifício de Santo António poderiam ser utilizados outros equipamentos.

Como conclusão final, pode-se dizer que ainda existe um longo caminho a percorrer em termos de regulamentação do uso de drones para áreas em específico, tendo em consideração os parâmetros que importam para cada tipo de trabalho, no entanto é possível perceber que estes aparelhos irão cada vez mais apresentar uma maior valia para as entidades que quiserem continuar a ser competitivas e apresentar trabalhos com mais eficiência, rapidez e qualidade.

7.2 Proposta de trabalhos futuros

De forma geral, considera-se que o guião prático elaborado neste trabalho pode ser uma ferramenta muito útil na organização e obtenção de resultados com qualidade, sobretudo em situações de inspeção com recurso a drones. No entanto este poderá ser aprimorado com a contínua utilização e experiência adquirida com o uso do mesmo. Os aspetos que podem ser melhorados são os seguintes:

- Conversão do guião prático de Excel® para um *software* mais eficiente;
- Definir mais tipologias de construções;
- Concluir a parte do programa onde se inserem os documentos sobre a construção;
- Desenvolver um aplicativo para *Smartphone* por forma a que o guião seja mais fácil de usar em trabalhos de campo;
- Definir, ainda dentro do guião prático, os pontos de controlo principais e importá-los para o drone por forma a que o voo fosse completamente automático;

Quanto à utilização de drones para inspeção de construções, seria interessante realizar no futuro uma análise económica mais aprofundada, que tivesse em consideração diferentes cenários e diferentes equipamentos, uma vez que neste trabalho apenas se comparou um tipo de equipamento tradicional.

Por fim é importante que sejam definidas normas ou regulamentações mais específicas para a utilização destes aparelhos, não só em contexto de inspeção de construções, mas também em outras áreas onde estes podem agregar vantagens.

Por último, considera-se que com esta dissertação, as bases para uma melhor utilização de drones na inspeção de construções podem ficar melhor esclarecidas, contribuindo assim para a realização de inspeções visuais com maior qualidade e frequência, garantindo a manutenção e preservação das construções.

Bibliografia

- [1] J. Lanzinha, *Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção*, tese de doutoramento, Nova Europa. Universidade da Beira Interior, 2013.
- [2] J. Shahmoradi, E. Talebi, P. Roghanchi, e M. Hassanalain, «A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry», *Drones*, vol. 4, n. 3, p. 34, Jul. 2020
- [3] Q. F. M. Dupont, D. K. H. Chua, A. Tashrif, e E. L. S. Abbott, «Potential Applications of UAV along the Construction's Value Chain», *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 165–173, 2017
- [4] G. Sousa, «Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto», Universidade do Minho, Braga, 2017.
- [5] J. Seo, L. Duque, e J. Wacker, «Drone-enabled bridge inspection methodology and application», *Autom. Constr.*, vol. 94, pp. 112–126, Out. 2018
- [6] A. Banaszek, S. Banaszek, e A. Cellmer, «Possibilities of Use of UAVS for Technical Inspection of Buildings and Constructions», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 95, p. 032001, Dez. 2017
- [7] J. Falorca e J. Lanzinha, *Developments towards the use of drones in the building envelope condition assessment - A comprehensive review and experimental rehearsals*, 1ª. Covilhã: Tipografia da Universidade da Beira Interior, 2019.
- [8] «DJI Mavic Pro – Specs, Tutorials & Guides – DJI», *DJI Official*. <https://www.dji.com/pt/mavic/info> (acedido Set. 16, 2020).
- [9] Infraestruturas de Portugal, «Indicadores de desempenho», *Indicadores de desempenho*, Ago. 02, 2019. <https://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/ferroviaria/estado-da-infraestrutura/indicadores-de-desempenho> (acedido Mar. 24, 2020).
- [10] Infraestruturas de Portugal, «infraestruturas de portugal», www.infraestruturasdeportugal.pt, Ago. 22, 2018. .
- [11] Ontario - Ministry of Transportation, *Ontario Structure Inspection Manual*. Ontario: Ministry of Transportation, 2000.
- [12] J. Souza, N. Nascimento, e E. Bauer, «Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias», apresentado na CIRMARE - Congr. Int. na Recup. Manutenção e Restauração Edifícios, UFRJ, 2015.

- [13] D. Leitão e M. Almeida, «Metodologia para a Implementação de Check Lists em Intervenções de Reabilitação», Guimarães, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2004.
- [14] L. V. Paiva, *Guia técnico de reabilitação habitacional (Volume I)*, vol. I. INH & LNEC, 2006.
- [15] J. Lanzinha, *Inspeção Técnica de Edifícios Antigos*. Porto: FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [16] J. D. Brito, «Sistemas e Tipos de Inspeção» [Apontamentos da cadeira de inspeção e reabilitação de construções] Faculdade de ciências e tecnologia da universidade de Coimbra, 2001
- [17] American Society of Civil Engineers, *Guideline for condition assesement of the building envelope*. American Society of Civil Engineers, 2014.
- [18] K. Gkoumas, F. L. Marques dos Santos, M. van Balen, A. H. Ortega, e M. Grosso, «Research and innovation in bridge maintenance, inspection and monitoring», Publications Office of the European Union, Luxemburgo, 2019.
- [19] F. Faqih, T. Zayed, e E. Soliman, «BIM based Facility Condition Assessment», em *Proceedings of the International Conference on Civil Infrastructure and Construction (CIC 2020)*, Fev. 2020, pp. 162–171
- [20] V. Córias, *Inspeções e ensaios: na reabilitação de edifícios*. Lisboa: Editora IST PRESS, 2006.
- [21] L. Bertolini, *Materiais de Construção : patologia, reabilitação, prevenção*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- [22] B. Amaro, D. Saraiva, J. de Brito, e I. Flores-Colen, «Inspection and diagnosis system of ETICS on walls», *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1257–1267, Out. 2013
- [23] D. M. Abreu, «Técnicas de Diagnósticos Utilizadas em Engenharia Civil», Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.
- [24] M. J. Ryall, *Bridge Management*, 2ª. Amsterdam: Butterworth Heinemann, 2010.
- [25] American Society of Civil Engineers, Ed., *Guideline for condition assesement of the building envelope*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2014.
- [26] H. Patricio, M. J. Correia, e H. Pernauta, «Estruturas Metálicas - Guia técnico de recomendações: requisitos de durabilidade, processos de degradação, métodos de inspeção e reparação», apresentado na ASCP2011, Coimbra, 2011.

- [27] C. C. Sacchi e A. S. Clemente de Souza, «Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas», *REEC - Rev. Eletrônica Eng. Civ.*, vol. 13, n. 1, Ago. 2016, doi: 10.5216/reec.v13i1.41214.
- [28] A. Lopes, «Inspeção e Manutenção de Pontes Ferroviárias em Estrutura Metálica», Relatório de estágio para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.
- [29] M. Raupach e T. Büttner, *Concrete repair to EN 1504: diagnosis, design, principles and practice*. 2014.
- [30] J. Castro Gomes, L. Oliveira, J. Lanzinha, e M. Almeida, «Técnicas de Inspeção e Avaliação de Estruturas de Betão», Departamento de Engenharia Civil, Covilhã, 2001.
- [31] T. Yamaguchi, T. Shibuya, M. Kanda, e A. Yasojima, «Crack Inspection Support System for Concrete Structures Using Head Mounted Display in Mixed Reality Space», em *2019 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Hiroshima, Japan, Set. 2019, pp. 791–796
- [32] N. Bagge, *Structural Assessment Procedures for Existing Concrete Bridges*. Luleå University of Technology, 2017.
- [33] Instituto Nacional de Estatística., *Resultados definitivos: Portugal*. Lisboa, 2012.
- [34] G. T. Ferraz, J. de Brito, V. P. de Freitas, e J. D. Silvestre, «State-of-the-Art Review of Building Inspection Systems», *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 30, n. 5, p. 04016018, Out. 2016
- [35] S. F. Amaral, «Inspeção e diagnóstico de edifícios recentes. Estudo de um caso real», Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- [36] I. M. Cassiano, «Inspeção e propostas de reabilitação de edifícios do Bairro Amarelo, em Almada», Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade nova de Lisboa, Lisboa, 2017.
- [37] E. Bauer, C. B. Piazzarollo, J. S. de Souza, e D. G. dos Santos, «Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation», *J. Build. Pathol. Rehabil.*, vol. 5, n. 1, p. 7, Dez. 2020
- [38] M. H. Shariq e B. R. Hughes, «Revolutionising building inspection techniques to meet large-scale energy demands: A review of the state-of-the-art», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 130, p. 109979, Set. 2020
- [39] S. Chen, D. F. Laefer, E. Mangina, S. M. I. Zolanvari, e J. Byrne, «UAV Bridge Inspection through Evaluated 3D Reconstructions», *J. Bridge Eng.*, vol. 24, n. 4, p. 05019001, Abr. 2019

- [40] S. Dorafshan e M. Maguire, «Bridge inspection: human performance, unmanned aerial systems and automation», *J. Civ. Struct. Health Monit.*, vol. 8, n. 3, pp. 443–476, Jul. 2018
- [41] C. Koch, S. G. Paal, A. Rashidi, Z. Zhu, M. König, e I. Brilakis, «Achievements and Challenges in Machine Vision-Based Inspection of Large Concrete Structures», *Adv. Struct. Eng.*, vol. 17, n. 3, pp. 303–318, Mar. 2014
- [42] M. Palik e M. Nagy, «Brief history of UAV development», *Repüléstudományi Közlemények*, vol. 31, n. 1, pp. 155–166, 2019
- [43] K. Martinez, «The History Of Drones (Drone History Timeline From 1849 To 2019)», *dronethusiast*, 2018. <https://www.dronethusiast.com/history-of-drones/> (acedido Ago. 12, 2020).
- [44] B. Vergouw, H. Nagel, G. Bondt, e B. Custers, «Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments», em *The Future of Drone Use*, vol. 27, B. Custers, Ed. The Hague: T.M.C. Asser Press, 2016, pp. 21–45.
- [45] DJI, «Matrice 200 series». <https://www.dji.com/pt/matrice-200-series> (acedido Ago. 20, 2020).
- [46] S. G. Gupta, M. Ghonge, e P. M. Jawandhiya, «Review of Unmanned Aircraft System (UAS)», *SSRN Electron. J.*, 2013, doi: 10.2139/ssrn.3451039.
- [47] M. Hassanalian e A. Abdelkefi, «Classifications, applications, and design challenges of drones: A review», *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 91, pp. 99–131, Mai. 2017
- [48] B. Beirão, «O panorama dos drones em Portugal», Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2019.
- [49] M. Eleftheria e M. Spyros, «Classification of Drones», *American Journal of Engineering Research*, pp. 36–41, 2017.
- [50] D. Chabot, «Trends in drone research and applications as the Journal of Unmanned Vehicle Systems turns five», Comentário, 2018. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.1139/jjuvs-2018-0005#.XoWOZMhKhPY>.
- [51] E. Ciampa, L. De Vito, e M. Rosaria Pecce, «Practical issues on the use of drones for construction inspections», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1249, p. 012016, Mai. 2019
- [52] J. Falorca e J. Lanzinha, «A utilização de drones como ferramenta tecnológica emergente para a inspeção técnica da envolvente de edifícios», em *Patologia e Reabilitação - Técnicas de Diagnóstico e Inspeção*, Porto, Set. 2018, pp. 1016–1026, [Em linha]. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/6791>.

- [53] E. Seifert *et al.*, «Influence of Drone Altitude, Image Overlap, and Optical Sensor Resolution on Multi-View Reconstruction of Forest Images», *Remote Sens.*, vol. 11, n. 10, p. 1252, Mai. 2019
- [54] A. Oliveira, L. Vieira, e T. Faria, «Prática recomendada de inspeção predial, vistoria cautelar e perícias de engenharia com uso de VANT's», Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil, IBAPE-MG-01-19, Fev. 2019.
- [55] B. Felipe-García, D. Hernández-López, e J. L. Lerma, «Analysis of the ground sample distance on large photogrammetric surveys», *Appl. Geomat.*, vol. 4, n. 4, pp. 231–244, Dez. 2012
- [56] «What is the difference between CCD and CMOS image sensors in a digital camera», *HowStuffWorks*, Abr. 2000. <https://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm> (acedido Ago. 27, 2020).
- [57] Nasim, «What Is Focal Length in Photography?», *photographylife*, Abr. 2020. <https://photographylife.com/what-is-focal-length-in-photography> (acedido Ago. 27, 2020).
- [58] C. Stöcker, R. Bennett, F. Nex, M. Gerke, e J. Zevenbergen, «Review of the Current State of UAV Regulations», *Remote Sens.*, vol. 9, n. 5, p. 459, Mai. 2017
- [59] «Autoridade Nacional da Aviação Civil», Fev. 04, 2020. <https://www.anac.pt/vPT/Generico/ANAC/QuemSomos/Paginas/QuemSomos.aspx> (acedido Set. 01, 2020).
- [60] A. Adão da Fonseca, C. Quinaz, R. Bastos, e M. Pereira, «Concepção e dimensionamento da ponte pedonal sobre a ribeira da carpinteira, na Covilhã», apresentado na Congresso de construção metálica e mista, Porto, 2008.
- [61] R. Mendes e S. Coelho da Silva, «História da Torre de Santo António», *urbietorbi*, 2011 30AD. <http://www.urbi.ubi.pt/pag/8811>.
- [62] A. Torres, «Empreendimentos de Construção e Reabilitação – Custos Associados», Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2015.