



INSPEÇÃO DA TORRE DO MONTE DA VIRGEM COM O AUXÍLIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

ANDERSON KYN RODRIGUES SHIBASAKI

Outubro de 2019

INSPEÇÃO DA TORRE DO MONTE DA VIRGEM COM O AUXÍLIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

ANDERSON KYN RODRIGUES SHIBASAKI

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS

Orientador: Diogo Rodrigo Ferreira Ribeiro

Co-Orientador: Ricardo Manuel Pereira dos Santos (ISEP)

Co-Orientador: Sergio Vicente Denser Pamboukian (UPM)

OUTUBRO DE 2019

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xix
CAPÍTULO 1 Introdução.....	21
CAPÍTULO 2 Aplicabilidade de Veículo Aéreo Não Tripulado em Inspeções	27
CAPÍTULO 3 Inspeções de Estruturas de Betão Armado.....	41
CAPÍTULO 4 Veículo Aéreo Não Tripulado	73
CAPÍTULO 5 Processamento de Imagens Digitais	81
CAPÍTULO 6 Procedimentos Metodológicos.....	103
CAPÍTULO 7 Análise e Discussão de Resultados.....	113
CAPÍTULO 8 Considerações Finais.....	117
Referências Bibliográficas	121
Anexo I – Algoritmo para Detecção de Líquens.....	127
Anexo II – Algoritmo para Detecção de Fissuras.....	129
Anexo III – Algoritmo para Detecção de Eflorescências	131
Anexo IV – Algoritmo para Detecção de Armadura Exposta Corroída	133
Anexo V – Algoritmo para Cópia do EXIF	135
Anexo VI – Fichas de Inspeção	137

RESUMO

Com o tempo, as estruturas de construções civis ficam sujeitas a muitos fatores, sejam eles externos ou até mesmo inerentes às próprias estruturas, que influenciam significativamente em suas condições. Para que se possa mantê-las por muito anos, faz-se necessário investigar de forma detalhada seu estado de conservação e para isso, usualmente recorre-se a inspeções visuais que permitem avaliar seu estado de conservação e com isso adotar procedimentos corretivos necessários. Entretanto, alguns tipos de estruturas tais como torres de telecomunicações, pontes, plataformas de petróleo *offshore*, torres de transmissão de energia eólica, e outras, apresentam dificuldade no acesso para que o inspetor possa realizar suas tarefas. Através deste trabalho, avalia-se a contribuição da utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado em atividades de inspeção visual. Por meio dele, é apresentado de forma teórica o funcionamento de uma inspeção visual tradicional, em contraste com a pesquisa prática de inspeção da Torre do Monte da Virgem, em Portugal, com a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e posterior processamento digital de imagens através dos *softwares* MATLAB e PIX4Dmapper junto ao preenchimento de fichas de inspeção, para então avaliar o estado de conservação. A metodologia apresentou resultados satisfatórios, sendo a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado de grande valia, mas a metodologia também apresenta algumas limitações.

Palavras-chave: Inspeção visual. Veículo Aéreo Não Tripulado. Torre do Monte da Virgem. Processamento de imagens. Fichas de inspeção.

ABSTRACT

Along the time, civil construction structures are subject to many external factors or even factor inherent to the structures themselves, which significantly influence their conditions. In order to keep them for many years, it is necessary to investigate their conservation status in detail and, therefore it is used to do visual inspections that allow evaluating their state of conservation and finally planning necessary corrective actions. However, some types of structures such as telecommunications towers, bridges, offshore oil platforms, wind power transmission towers, and others, are difficult to access or present risks for inspector's task performance. This paper aims at the contribution of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) usage in visual inspection activities. Through it, it is presented in a theoretical way the methodology of a traditional visual inspection in contrast to the practical research of inspection of Monte da Virgem Tower, in Portugal, with the use of Unmanned Aerial Vehicle Matrice 600 Pro, and then processing the achieved images in the software MATLAB and PIX4Dmapper. In order to evaluate the state of conservation, after digital image processing, inspection forms were filled. The methodology presented satisfactory results, being the use of Unmanned Aerial Vehicle a great value, but also presented some limitations.

Keywords: Visual inspection. Unmanned Aerial Vehicle. Monte da Virgem Tower. Digital image processing. Inspection form.

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de toda sabedoria, pela força e pela coragem que nos concedeu, permanecendo ao nosso lado em todo o percurso desta caminhada.

À minha família, pela paciência, compreensão, incentivo, e por acreditarem em minha capacidade.

Aos Eng.º Diogo Rodrigo Ferreira Ribeiro e Eng.º Ricardo Manuel Pereira dos Santos, minha eterna gratidão, pelas orientações sempre presentes, mesmo que à longa distância, com diretrizes seguras, muita paciência, constante acompanhamento e incentivo.

Ao Eng.º Sergio Vicente Denser Pamboukian, minha eterna gratidão, por ter sido coorientador persistente da UPM, me ajudou significativamente com esta pesquisa, muita paciência, constante acompanhamento e incentivo.

À empresa ALTICE pela disponibilidade de acesso à Torre do Monte da Virgem utilizada como objeto de estudo do presente trabalho.

Ao Eng.º Edson Tafeli Carneiro dos Santos por todo o suporte com material a respeito de processamento de imagens no *software* MATLAB.

Ao meu colega Rafael de Araújo Cabral, companheiro do programa de dupla titulação da Universidade Presbiteriana Mackenzie com o Instituto Superior de Engenharia do Porto, trabalhando junto comigo na Torre do Monte da Virgem em sua dissertação.

Aos membros que constituíram a equipa de pesquisa na Torre do Monte da Virgem, em especial ao Óscar Moreira, Helio Teixeira e Gabriel Saramago, pelo auxílio na aquisição das imagens depois do meu regresso ao Brasil.

Às minhas colegas Camila Motta Rodrigues e Patricia Sanvito Bonilha, companheiras do programa de dupla titulação da Universidade Presbiteriana Mackenzie com o Instituto Superior de Engenharia do Porto, no ramo de Estruturas.

Aos meus colegas Anderson Ryuji Hotta e Carlos Cesar G. Piccoli Ruivo, companheiros do programa de dupla titulação da Universidade Presbiteriana Mackenzie com o Instituto Superior de Engenharia do Porto, no ramo de Construções.

Aos meus colegas de sala, Caio Assef, Marwan Gebara, Otávio Brito, Pedro Raiza e Rafael Calisto, pela companhia nesses 5 anos de estudos ao longo do curso de Engenharia Civil na Universidade Presbiteriana Mackenzie.

ÍNDICE DE TEXTO

1.1	Problema de Pesquisa.....	24
1.2	Objetivos.....	25
1.2.1	Objetivo Geral.....	25
1.2.2	Objetivos específicos.....	25
1.3	Metodologia.....	25
1.4	Estrutura do Trabalho.....	26
3.1	Inspeção Preliminar.....	41
3.1.1	Levantamento de informações.....	41
3.1.2	Levantamento geométrico.....	42
3.1.3	Levantamento de anomalias.....	42
3.1.4	Levantamento de causa.....	43
3.1.5	Preparação das fichas de inspeção.....	45
3.2	Inspeção Detalhada.....	47
3.2.1	Equipamentos.....	47
3.2.2	Caracterização das Anomalias.....	48
3.2.3	Ensaio de Diagnóstico.....	60
3.2.4	Avaliação do estado de conservação.....	71
4.1	Legislação Brasileira Para Uso.....	75
4.2	Legislação Portuguesa Para Uso.....	77
5.1	PIX4Dmapper.....	81
5.2	MATLAB.....	86
5.2.1	Deteção de líquens.....	87

ÍNDICE DE TEXTO

5.2.2	Deteção de fissuras.....	91
5.2.3	Deteção de eflorescências.....	95
5.2.4	Deteção de armadura exposta corroída.....	98
6.1	Torre do Monte da Virgem	103
6.2	Voos e Processamento de Imagens Digitais Experimentais.....	105
6.3	Inspeção Visual.....	109
8.1	Conclusões	117
8.2	Desenvolvimentos Futuros	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Nível de qualidade vs. tempo. (Adaptado de Rodrigues, 2018a)	22
Figura 1.2 – Principais causas de acidentes em construções.(Adaptado de Jordan <i>et al.</i> , 2018)	23
Figura 1.3 – Torre do Monte da Virgem (Acervo do autor).....	24
Figura 2.1 – VANT de asa fixa. (Parente, Felix e Picanço, 2017)	28
Figura 2.2 – VANT multirotor. (DJI, 2019)	28
Figura 2.3 – Movimentos do VANT de asa fixa. (Kneipp, 2018)	28
Figura 2.4 – Comparativo entre imagens RGB e NIR. (Parente, Felix e Picanço, 2017)	31
Figura 2.5 – Mapas de delaminação (esquerda) e potencial elétrico (direita) da ponte A. (Adaptado de Omar e Nehdi, 2017)	32
Figura 2.6 – Inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica. (Rangel, Kienitz e Brandão, 2009) ..	33
Figura 2.7 – Espaço para realização da missão sem interferência. (Rangel, Kienitz e Brandão, 2009)	34
Figura 2.8 – Transformação homográfica de uma imagem. (Ellenberg <i>et al.</i> , 2016).....	35
Figura 2.9 – Resultado do algoritmo de detecção de fissuras: (a) até (d) antes e (e) até (h) após execução do algoritmo.....	37
Figura 2.10 – Trajetória de voo do VANT para modelagem de torres. (PIX4D, 2019)	38
Figura 2.11 – Varredura com sistema LIDAR. (Bastos e Filho, 2012)	38
Figura 3.1 – Primeira página da ficha de inspeção. (Acervo do autor)	45
Figura 3.2 – Páginas intermediárias da ficha de inspeção. (Acervo do autor)	46
Figura 3.3 – Última página da ficha de inspeção. (Acervo do autor)	47
Figura 3.4 – Exemplo de destacamento do betão. (Acervo do autor)	48
Figura 3.5 – Exemplo de fendilhação . (Acervo do Autor).....	49
Figura 3.6 – Exemplo de delaminação do betão. (Acervo do autor).....	49

Figura 3.7 – Exemplo de armadura exposta. (Acervo do autor)	50
Figura 3.8 – Exemplo de armadura corroída. (Acervo do autor).....	51
Figura 3.9 – Exemplo de corrosão de chapas e perfis metálicos. (Acervo do autor)	51
Figura 3.10 – Exemplo de eflorescência. (Acervo do autor).....	52
Figura 3.11 – Exemplo de mancha de humidade. (Acervo do autor)	52
Figura 3.12 – Exemplo de manchas de ferrugem. (Acervo do autor).....	53
Figura 3.13 – Exemplo de pinturas indesejadas. (Acervo do autor).....	53
Figura 3.14 – Exemplo de colagem indesejada. (Acervo do autor).....	54
Figura 3.15 – Exemplo de vegetação indesejada. (Acervo do autor)	54
Figura 3.16 – Exemplo de rugosidade do betão. (Acervo do autor).....	55
Figura 3.17 – Exemplo de bolhas de ar. (Acervo do autor)	55
Figura 3.18 – Exemplo de ninho de brita. (Acervo do autor)	56
Figura 3.19 – Exemplo de escorrência. (Acervo do autor)	56
Figura 3.20 – Exemplo de fio indesejado. (Acervo do autor)	57
Figura 3.21 – Exemplo de desalinhamento do betão nas juntas das cofragens. (Acervo do autor).....	57
Figura 3.22 – Exemplo de segregação do betão. (Acervo do autor)	58
Figura 3.23 – Exemplo de proliferação de líquens. (Acervo do autor).....	58
Figura 3.24 – Exemplo de furos para instalação de equipamentos. (Acervo do autor)	59
Figura 3.25 – Exemplo de destacamento do revestimento. (Acervo do autor)	59
Figura 3.26 – Exemplo de junta de betonagem. (Acervo do autor)	60
Figura 3.27 – Ensaio de deteção da armadura. (HILTI, 2019).....	61
Figura 3.28 – Fuxograma para determinação da resistência à compressão. (Adaptado de Comité Europeu de Normalização, 2008)	62
Figura 3.29 – Mínima resistência à compressão <i>in situ</i> característica para por classe de betão. (Adaptado de Comité Europeu de Normalização, 2008)	63
Figura 3.30 – Ensaio do esclerómetro de Schmidt. (PROCEQ, 2019)	64
Figura 3.31 – Ábaco de classe de resistência do betão vs. índice esclerométrico. (Rodrigues, 2018c)	65

Figura 3.32 – Ensaio de resistência a penetração. (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018a)	65
Figura 3.33 – <i>Lok-test</i> . (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018b)	66
Figura 3.34 – <i>Capo-test</i> . (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018b)	66
Figura 3.35 – Ensaio de ultrassons no betão. (Caracas <i>et al.</i> , [s.d.])	67
Figura 3.36 – Monitorização de fissuras com fissurômetro.(J. Roma Lda., 2019)	68
Figura 3.37 – Monitorização de fissuras com testemunho de gesso. (Silva e Torres, 2015)	68
Figura 3.38 – Ensaio de determinação da profundidade de carbonatação do betão. (Spybuilding - Inspeção de Edifícios, 2018)	69
Figura 3.39 – Ensaio de determinação do teor de cloretos. (Adaptado de Rodrigues, 2018c)	70
Figura 3.40 – Ensaio para determinação da resistividade elétrica. (Rodrigues, 2018c)	70
Figura 3.41 – Ensaio de medição do potencial elétrico. (Rodrigues, 2018)	71
Figura 4.1 – VANT Amber. (DARPA, 2019)	74
Figura 4.2 – VANT BQM1BR.(Paula, 2009)	74
Figura 4.3 – Fluxograma emissão de certificados.(Agência Nacional de Aviação Civil, 2017b)	76
Figura 4.4 – Divisão do espaço aéreo brasileiro e seus órgãos regionais.(Ministério da Defesa, 2018)	77
Figura 4.5 – Áreas associadas a CTR do Porto. (Autoridade Nacional de Aviação Civil, 2016)	79
Figura 4.6 – Localização da Torre do Monte da Virgem na CTR do Porto. (Acervo do Autor)	80
Figura 5.1 – Interface inicial do PIX4Dmapper. (Acervo do autor)	82
Figura 5.2 – Comando “ <i>New Project</i> ”. (Acervo do autor)	82
Figura 5.3 – Comando “ <i>Select Images</i> ”. (Acervo do autor)	83
Figura 5.4 – Comando “ <i>Image Properties</i> ”. (Acervo do autor)	83
Figura 5.5 – Comando “ <i>Select Output Coordinate System</i> ”. (Acervo do autor)	84
Figura 5.6 – Comando “ <i>Processing Options Template</i> ”. (Acervo do autor)	85
Figura 5.7 – Modelo 3D de nuvem de pontos. (Acervo do autor)	85
Figura 5.8 – Resultado após limpeza da nuvem de pontos do modelo. (Acervo do autor)	86
Figura 5.9 – Interface inicial do MATLAB. (Acervo do autor)	87
Figura 5.10 – Fluxograma pra deteção de líquens. (Acervo do autor)	87

Figura 5.11 – Interface inicial do programa “Color Thresholder”. (Acervo do autor)	88
Figura 5.12 – Espaço de cores RGB. (Godinho <i>et al.</i> , 2008)	88
Figura 5.13 – Aplicação do filtro com R (0 a 255), G (0 a 255) e B (0). (Acervo do autor).....	89
Figura 5.14 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de líquens: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) imagem com líquens evidenciados por falsa cor. (Adaptado de Marchant, 2014)	90
Figura 5.15 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de líquens: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) imagem com líquens evidenciados por falsa cor. (Acervo do autor)	91
Figura 5.16 – Fluxograma pra detecção de fissuras. (Adaptado de Pereira, 2015)	92
Figura 5.17 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de fissuras: (a) imagem original RGB; (b) imagem original transformada em escala de cinzas; (c) gradiente da imagem pelo método de <i>Prewitt</i> ; (d) detecção de bordas pelo método de <i>Canny</i> ; (e) dilatação das bordas detectadas; (f) preenchimento das bordas detetadas e limpeza de itens fora do padrão; (g) erosão da imagem com as fissuras detetadas; (h) fissuras detetadas e evidenciada por uma cor falsa. (Adaptado de Votorantim Cimentos, 2018)	93
Figura 5.18 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de fissuras: (a) imagem original RGB; (b) imagem original transformada em escala de cinzas; (c) gradiente da imagem pelo método de <i>Prewitt</i> ; (d) detecção de bordas pelo método de <i>Canny</i> ; (e) dilatação das bordas detectadas; (f) preenchimento das bordas detetadas e limpeza de itens fora do padrão; (g) erosão da imagem com as fissuras detetadas; (h) fissuras detetadas e evidenciada por uma cor falsa. (Adaptado de Pereira, 2015)	94
Figura 5.19 – Fluxograma pra detecção de eflorescências. (Acervo do autor).....	95
Figura 5.20 – Segmentação com RGB à níveis 255. (Acervo do autor)	96
Figura 5.21 – Ajuste final dos níveis RGB. (Acervo do autor)	96
Figura 5.22 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de eforescências: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Adaptado de Votorantim Cimentos, 2017).....	97
Figura 5.23 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de eforescências: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e)	

somatório das imagens (c) e (d); (f) anomalia evidenciada por um falsa cor.(Adaptado de tresuno, [s.d.])	98
Figura 5.24 – Fluxograma pra deteção de varões expostos corroídos. (Acervo do autor)	99
Figura 5.25 – Resultado 1 do algoritmo para deteção de varões expostos corroídos: (a) imagem RGB original; (b) imagem com brilho aumentado em 210; (c) imagem da banda G; (d) imagem do gradiente; (e) imagem do gradiente limpo; (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Acervo do autor).....	100
Figura 5.26 – Resultado 2 do algoritmo para deteção de varões expostos corroídos: (a) imagem RGB original; (b) imagem com brilho aumentado em 210; (c) imagem da banda G; (d) imagem do gradiente; (e) imagem do gradiente limpo; (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Acervo do autor).....	101
Figura 6.1 – Localização da Torre do Monte da Virgem. (Google LLC, 2019).....	103
Figura 6.2 – Torre do Monte da Virgem. (Acervo do autor).....	104
Figura 6.3 – Interior da Torre do Monte da Virgem. (Acervo do autor)	105
Figura 6.4 – VANT modelo Tello. (Acervo do autor).....	106
Figura 6.5 – Voo teste no prédio J do ISEP. (Acervo do autor).....	106
Figura 6.6 – Mensagem de interferência com vento. (Acervo do autor).....	107
Figura 6.7 – Voo teste com o Matrice 600 Pro no estacionamento do ISEP. (Acervo do autor)	108
Figura 6.8 – Modelagem da fachada do prédio I do ISEP. (Acervo do autor)	109
Figura 6.9 – Modelagem da fachada do prédio J do ISEP. (Acervo do autor)	109
Figura 6.10 – Trajetória do voo da inspeção. (Acervo do autor).....	110
Figura 6.11 – Modelo 3D com líquens evidenciados. (Acervo do autor)	111
Figura 6.12 – Pormenorização do modelo 3D com liquens evidenciados. (Acervo do autor)	111
Figura 6.13 – Comando “New Surface”. (Acervo do autor).....	112

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparativo entre imagens da inspeção convencional e com VANT. (Seo, Duque e Wacker, 2018)	30
Tabela 2.2 – Resultados do levantamento geométrico feito com VANT. (Adaptado de Roca <i>et al.</i> , 2014)	35
Tabela 2.3 – Resultados do deslocamento do pino em mm. (Adaptado de Ellenberg <i>et al.</i> , 2016)	36
Tabela 2.4 – Resultados da deformação da viga. (Adaptado de Ellenberg <i>et al.</i> , 2016)	36
Tabela 2.5 – Resultados do ensaio de corrosão. (Adaptado de Ellenberg <i>et al.</i> , 2016)	36
Tabela 3.1 – Lista de siglas dos elementos estruturais. (Acervo do autor)	42
Tabela 3.2 – Lista genérica de anomalias. (Acervo do autor)	43
Tabela 3.3 – Lista genérica de causas. (Acervo do autor)	44
Tabela 3.4 – Notas dos critérios para avaliação do estado de conservação. (Adaptado de Rodrigues, 2018c)	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As estruturas da construção civil, como por exemplo, torres de telecomunicações, pontes, torres de transmissão de energia elétrica, edificações, entre outras, são projetadas à luz de normas que visam garantir estabilidade e segurança aos seus futuros usuários que irão usufruí-las durante todo período de tempo de vida útil delas. Ao longo deste tempo, ficam sujeitas a fatores externos variáveis que podem implicar em alterações nas suas condições.

Uma estrutura possui sua vida dividida em fases: concepção, fase na qual serão analisadas as possibilidades de projeto, analisando sua viabilidade técnica, econômica e sustentável; projeto, fase onde a alternativa adotada após análise da concepção será toda desenvolvida e detalhada; construção, fase pela qual poderá haver demolição ou não, tornando o projeto exequível em realidade; e utilização, fase final da estrutura pronta para ser entregue e utilizada, com adoção de posteriores ações necessárias de manutenção para mantê-la de forma a desempenhar sua função e com segurança.

Durante todo o ciclo de vida, as estruturas estão suscetíveis às consequências advindas de erros de projeto e execução, envelhecimento natural e degradação de seus materiais constituintes, desgaste mecânico e químico, alteração das condições de apoio, modificação das condições de uso, carregamentos excessivos, ocorrência de fenômenos naturais (sismos, ventos, *tsunamis*, etc.), fogo (incêndios) e acidentes (explosões, choques, etc.).

Segundo a “Norma Portuguesa (NP) EN 1990: 2009 – Eurocódigo – Bases para projecto de estruturas” (Comité Europeu de Normalização, 2009), tempo de vida útil de projeto (VUP) é definido como o período de tempo no qual uma estrutura ou parte dela está apta para cumprir funções as quais foi designada de forma satisfatória, considerando a manutenção prevista sem necessidade de grandes reparações.

A fim de garantir, em todas as fases de vida da estrutura, segurança, funcionalidade e durabilidade, é necessário proceder à sua manutenção regular e caso necessite, pode-se adotar como medidas corretivas o reforço ou até mesmo a reabilitação estrutural, prolongando sua vida útil (VU), conforme ilustrado na relação qualidade vs. tempo na Figura 1.1.

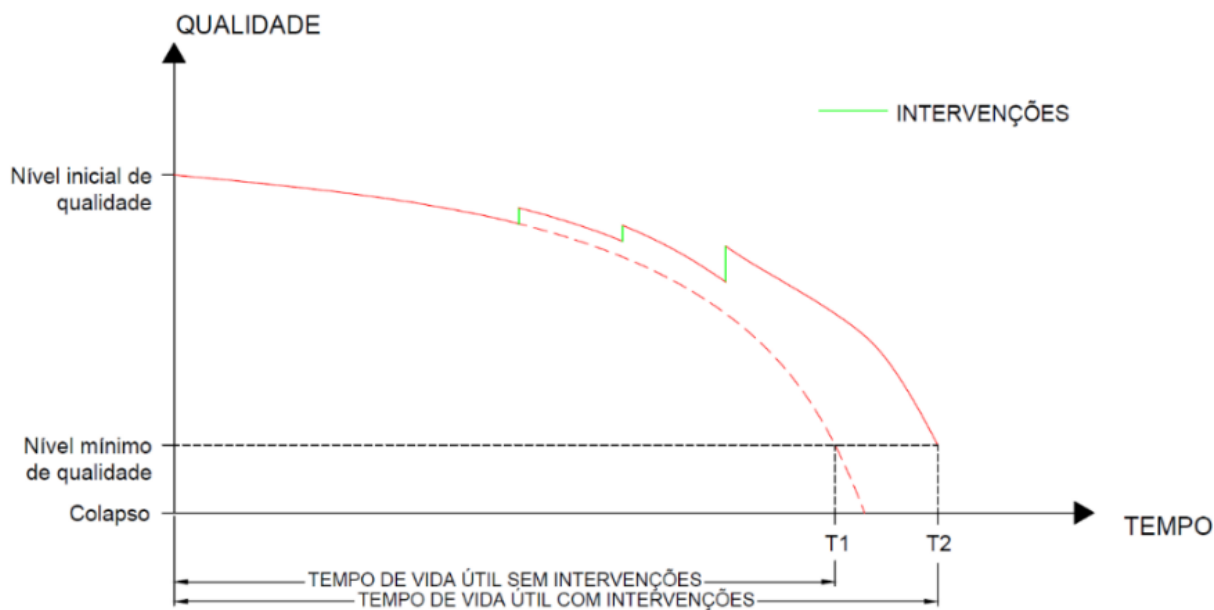


Figura 1.1 – Nível de qualidade vs. tempo. (Adaptado de Rodrigues, 2018a)

Para que o desempenho da estrutura seja mantido ou até mesmo melhorado, usualmente realizam-se inspeções visuais na estrutura. A inspeção visual de estruturas visa a coleta e apresentação informativa que permitem caracterizar a estrutura e avaliar seu estado de conservação, seja ela por motivos rotineiros, existência de patologias visíveis ou suspeitas, perícia após acidentes, alterações da geometria, ações e usos da estrutura, e avaliação imobiliária para negociação de imóveis.

Para Rodrigues (2018b) a inspeção de uma estrutura pode ser conduzida através de um estudo da mesma, tendo como base o conhecimento de sua geometria e materiais, para então realizar o levantamento e caracterização das anomalias e suas possíveis causas. Para isso, a inspeção visual é feita com base em registros fotográficos e preenchimento de fichas de inspeção que relatem os locais de ocorrência das anomalias e suas descrições.

O avanço da tecnologia vem colaborando para o desenvolvimento de novas técnicas em atividades da engenharia, e com isso, pode-se citar o uso de VANT para atividades de monitoramento. De acordo com Pregler (2017), diretor do programa de drones da empresa de telecomunicações estadunidense AT&T, drones vem sendo empregados nas inspeções de torres de telefonia celular da companhia, e toda vez que enviam um drone para inspecionar alguma de suas torres ao invés de alguma pessoa, há a redução ou eliminação dos riscos associados as escaladas. Segundo Lu, Sheng, Liu, *et al.* (2012 *apud* JORDAN *et al.*, 2018, p. 2), as principais causas dos acidentes em construções são negligência humana e condições inseguras, conforme descritas e detalhadas na Figura 1.2, o que evidencia a contribuição significativa da adoção deste tipo de tecnologia em atividades da engenharia.

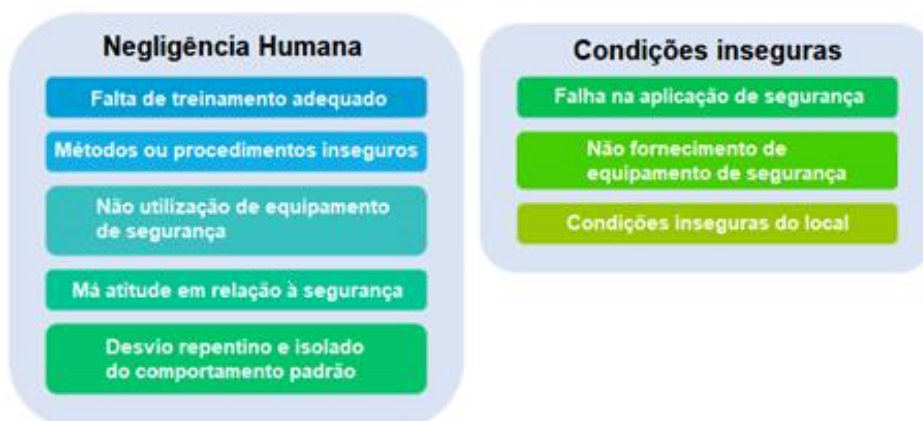


Figura 1.2 – Principais causas de acidentes em construções. (Adaptado de Jordan *et al.*, 2018)

Ao final de uma inspeção, gera-se um relatório com todas das informações compiladas, de maneira a concluir o estado de conservação da estrutura e, planejar e projetar possíveis intervenções futuras, se necessário. Segundo boletim 17 da Fédération internationale du béton (2002, p. 14), uma inspeção visual é a modalidade mais barata de inspeção, representando uma aquisição de 80% de informações relevantes e 20% do custo total da inspeção.

Portanto, para a avaliação do estado efetivo da estrutura, recorre-se usualmente a inspeção visual, podendo ser complementada com a realização de possíveis ensaios de diagnóstico e caracterização dos materiais constituintes ou instalação temporária ou definitiva de equipamentos vários de monitorização de tensões, deformações, vibrações ou movimentos da estrutura.

Pretende-se, então, por meio deste trabalho realizar a inspeção da torre de telecomunicações do Monte da Virgem (Figura 1.3), localizada em Vila Nova de Gaia (Portugal), construída de 1993 a 1995. A torre é feita em estrutura mista de betão armado e estrutura metálica, composta por um fuste de betão com altura de 125 m e 52m de torre metálica no topo, totalizando 177 m.



Figura 1.3 – Torre do Monte da Virgem (Acervo do autor)

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O processo de inspeção visual da estrutura requer que ela seja acessível e ofereça condições de segurança para o inspetor. Entretanto, avanços da engenharia permitiram a construção de estruturas que por vezes não são fáceis de acessá-las ou até mesmo não sejam acessíveis por usuários quando prontas. Com isso, a tecnologia evoluiu e permitiu que o trabalho da engenharia continuasse a partir da criação de mecanismos que permitiriam contornar as dificuldades encontradas.

Neste contexto, a utilização de VANT, combinado com o processamento de imagens digitais contribuíram para a inspeção de estruturas que não sejam acessíveis ou que ofereçam condições de segurança insatisfatórias para o inspetor, como por exemplo, torres geradoras de energia eólica, plataformas de petróleo *offshore*, torres de telecomunicações, torres de transmissão de energia elétrica, pontes, barragens e outras.

O conceito de VANT permitiu a sua utilização em larga escala com diversas aplicações civis. Consiste em uma aeronave de pequenas dimensões, não tripulada, ou seja, é conduzida de forma remota em algum lugar diferente de onde a aeronave esteja. O VANT pode ser controlado através de um controle-remoto manuseado por alguma pessoa, por voos programados em *softwares*, ou ambos.

Este trabalho apresenta o estudo da aplicação do uso de VANT na realização de inspeção de estruturas, bem como suas vantagens e limitações, pretendendo simultaneamente desenvolver competências na utilização de novas tecnologias e ampliar a discussão a respeito da metodologia de inspeção abordada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a contribuição do uso de VANT com posterior processamento computacional de imagens na inspeção visual de estruturas, aplicando esta recente metodologia na inspeção da Torre do Monte da Virgem e avaliar seu estado de conservação.

1.2.2 Objetivos específicos

Estudar as propriedades, legislações e aplicações de VANT.

Analisar as metodologias usadas para a realização de inspeções de estruturas.

Pesquisar sobre o processamento computacional de imagens.

Inspeccionar a Torre do Monte da Virgem, contribuindo para a caracterização do seu estado de conservação e validar a metodologia de inspeção utilizada.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com base em pesquisa teórica e prática.

A pesquisa teórica foi baseada na pesquisa bibliográfica a respeito da metodologia tradicional de inspeções em estruturas de betão armado, equipamentos de VANT, sua legislação para uso, aplicações, vantagens e limitações, além de também uma pesquisa teórica a respeito do processamento de imagens digitais.

A pesquisa prática foi realizada a partir da aquisição das imagens da torre do Monte da Virgem, com a utilização de um VANT da marca DJI, modelo Matrice 600 Pro equipado com câmera Zenmuse X5 de 16 megapixels acoplada na aeronave através de um *gimbal*. Com os dados coletados em campo, a pesquisa continuou através do processamento computacional das imagens pelo *software* MATLAB, responsável pelas criação de funções que permitiram a automatização na identificação e caracterização das possíveis anomalias. Com as imagens processadas em MATLAB, estas e as originais foram utilizadas no *software* PIX4Dmapper, responsável pela criação um modelo tridimensional da torre com as anomalias evidenciadas.

Capítulo 1

Por fim, a pesquisa prática foi finalizada com o preenchimento de fichas de inspeção, as quais possuem uma descrição das anomalias encontradas com suas possíveis causas, e a partir delas, realizar a avaliação do estado de conservação da estrutura.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em oito capítulos.

O Capítulo 1 apresenta a Introdução, que é compreendida pelos seguintes itens: caracterização do tema; Problema de Pesquisa; Objetivos; Metodologia; e Estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 retrata uma revisão da literatura sobre a aplicabilidade de VANT em inspeções de estrutura.

O Capítulo 3 identifica uma revisão da literatura sobre inspeções visuais em estruturas de betão armado.

O Capítulo 4 aborda uma revisão da literatura sobre VANT, apresentando um breve histórico do equipamento, e sua legislação de utilização no Brasil e Portugal.

O Capítulo 5 apresenta o processamento de imagens digitais.

O Capítulo 6 relata a inspeção visual da Torre do Monte da Virgem com a utilização de um VANT. Após a coleta de dados, foi realizado um processamento de imagens através de *softwares* computacionais, nos quais automatizou-se a deteção de anomalias e modelou-se a estrutura em 3D para posterior geração do relatório dos resultados da inspeção.

O Capítulo 7 descreve os resultados obtidos dos procedimentos desenvolvidos no Capítulo 6.

O Capítulo 8 relata as conclusões do trabalho e indica algumas possíveis recomendações a serem desenvolvidas em pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

APLICABILIDADE DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO EM INSPEÇÕES

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com vista à aplicabilidade de VANT em diversas áreas, indicando suas vantagens e desvantagens. Entre eles, muitas empresas relacionadas à engenharia civil vêm adotando o uso deste tipo de equipamento para desenvolverem suas atividades ou até mesmo melhorar o desempenho delas.

Um histórico de drones pesquisado por Rakha e Gorodetsky (2018) indica em sua pesquisa que as ideias que serviram de base para o que hoje é conhecido por UAV, teriam sido desenvolvidas em 1849 na primeira guerra da Independência Italiana, quando o império austríaco concebeu um sistema de balões de ar quente não tripulados para lançamento de bombas em Veneza. Após 140 anos, os drones ganharam força com as necessidades militares, quando os Estado Unidos da América (EUA) perceberam após a Guerra Fria que deveriam lançar um programa de pesquisas voltados para esta tecnologia. Somente em 2006, Frank Wang, iniciou seu projeto na Universidade de Hong Kong e hoje conhecemos ela como a DJI, a primeira indústria a tornar a tecnologia de drones acessível ao público em geral. Em 2012, a Federal Aviation Administration (FAA) incluiu este tipo de equipamento no espaço aéreo, sendo possível identificá-los e controlá-lo através de radares, de forma análoga ao que ocorre com aeronaves tradicionais tripuladas.

Em relação aos tipos de VANT existentes na atualidade, um levantamento realizado por Kneipp (2018) apresentou duas categorias de aparelhos: os de asa fixa (Figura 2.1) e os multirotor (Figura 2.2). Os primeiros utilizam o mesmo princípio dos aviões tradicionais, conforme ilustrado na Figura 2.3, e são capazes de rotacionar em torno do eixo longitudinal (*roll*), transversal (*pitch*) e vertical (*yaw*). Possuem maior sustentação com menor gasto de energia por conta da aerodinâmica, o que garante maior economia e voos de duração superior. Os multirotor são compostos por um conjunto de hélices, similar ao princípio de helicópteros. Podem ter um ou vários rotores (hélices), mas geralmente apresentam vários rotores (entre quatro e oito, normalmente) para garantir a sua estabilidade. São VANT operáveis com baixa velocidade e podem ficar parados no ar, com fácil manobrabilidade. Diferentes dos de asa fixa, possuem uma autonomia mais baixa. Deve-se planejar a atividade na qual pretende-se empregar o equipamento para definir qual tipo será adotado.



Figura 2.1 – VANT de asa fixa. (Parente, Felix e Picanço, 2017)



Figura 2.2 – VANT multirotor. (DJI, 2019)

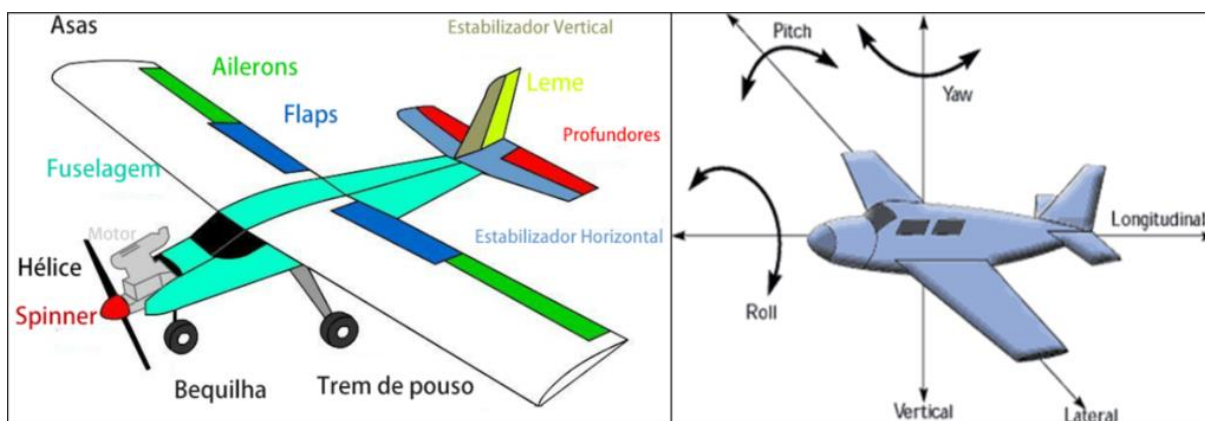


Figura 2.3 – Movimentos do VANT de asa fixa. (Kneipp, 2018)

No âmbito de inspeções de estruturas, uma metodologia desenvolvida por Seo, Duque e Wacker (2018), utilizou um VANT multirotor para avaliar as anomalias presentes em uma ponte de estrutura mista de madeira lamelada colada e betão na cidade de Keystone (Dakota do Sul) nos EUA, e comparou-a com o relatório de inspeção convencional efetuado pelo departamento de transportes local. Em sua

metodologia, a primeira etapa foi reconhecimento da estrutura, estudando sua geometria através dos projetos da mesma e os pontos principais a serem inspecionados. Em seguida, uma avaliação da região em que a estrutura está situada foi feita, com pesquisa de regulamentações a respeito do uso de VANT e determinação de áreas de risco no caso de falha da aeronave. A terceira etapa foi concluída com a realização de um voo teste para calibração do Global Positioning System (GPS) e sensores do VANT. A inspeção oficial foi feita na quarta etapa e foram necessários dois dias. A quinta e última etapa foi o processamento dos dados coletados, com o tratamento dos registos fotográficos através de *softwares* computacionais, sendo neste trabalho, adotado o PhotoScan, no qual foi possível criar um modelo 3D da estrutura com correção de textura e cores, possibilitando a análise de anomalias presentes. O VANT concluiu sua tarefa de forma satisfatória, porém algumas limitações foram constatadas enquanto o VANT voava embaixo do tabuleiro da ponte, sofrendo interferência de sinais do GPS. Foram comparados o relatório gerado pela inspeção com o VANT e o relatório da inspeção convencional, resultando em dados análogos, sem grandes diferenças. O VANT ainda conseguiu captar mais danos que os identificados no relatório do departamento de transportes: problemas com água na parte superior do tabuleiro, problemas com umidade e microfissuras nos pilares. Uma comparação entre todos os resultados das inspeções é descrita na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Comparativo entre imagens da inspeção convencional e com VANT. (Seo, Duque e Wacker, 2018)

Structural component	SDDOT inspection report	Drone-enabled inspection report	Comparison
Underside of deck	Near Stringer 1 at Joint 2: cracking delamination, and discoloration	(1) Bay 2 between Joints 1 and 2: white efflorescence	There are no major differences between the damage reported by SDDOT and the drone-enabled inspection report. minor differences include water damage between spans captured using the drone and not reported by SDDOT.
	Bays 2 and 3 at Joint 2: joint cracking and minor scaling	(2) Near Girder 4 at Joint 2: corroded exposed rebar, spalling, delamination, and efflorescence	
	Bays 2 and 3 at Joint 3: joint scaling, cracking, and delamination	(3) Along Joints 2 and 3: corrosion, spalling, delamination, and discoloration	
	Near Girder 1 parapet along entire deck: has cracking and discoloration	(4) Near Girder 4 Parapet along entire deck: minor cracks and discoloration especially near railings	
	Near Girder 4 parapet along entire deck: scaling, cracking, delamination, and efflorescence	(5) Near Girder 1 Parapet along entire deck: minor cracks and spalling especially near railings	
	Near Girder 4 at Joint 4: spalling and exposed rebar	(6) Near Girders 1 and 4 at Joint 4: concrete cracking, spalling, exposed rebar, discoloration, and water damage	
	Near Girder 4 at Joint 1: cracking, discoloration, and efflorescence	(7) Near Girders 1 and 4 at Joint 1: cracking and discoloration	
	Bay 2 at Joint 4: Scaling, delamination and efflorescence in Bay 2	(8) Near Girder 4 between Joints 1 and 2: water leakage	
Abutment	North Abutment near Girder 1: is spalled off and has exposed rebar	(9) North Abutment near Girder 1: spalling and corroded exposed rebar	There are no major differences between the damage reported by SDDOT and the drone-enabled inspection report.
	North Abutment near Girder 1: spalling	(10) North Abutment near Girder 4: cracking, efflorescence, rust stains, and water damage	
	South Abutment near Girder 4: efflorescence, scaling, and spalling	(11) South Abutment near Girders 1 and 4: spalling, efflorescence, and moisture	
	South Abutment on Bays 1 and 2: scaling and spalling	(12) South Abutment on Bays 1 and 2: concrete spalling	
Girder	At supports at Joints 2 and 3: bottom of girders has discoloration and decay due to trapped water and debris	(13) Girders 3 and 4 at Joints 2 and 3: bottom surface on both girders has discoloration and stains due to water leakage	Moisture damage between bents was identified using the drone but not reported by SDDOT.
	Girder 3 at Joint 3: surface scratch	(14) Girders 3 and 4 between Joints 2 and 3: stains at bottom of both girders	
	N/A	(15) Girder 4 between Joints 3 and 4: some moisture	
	N/A	(16) Girder 4 between Joints 1 and 2: some moisture	
Diaphragms	Diaphragms have slight discoloration where water has been present	(17) No major issues were found apart from minor discoloration near joints due to water leakage	No difference.
Column	Pedestals at Bent 2: horizontal crack along Bay 2 pedestal wall and crack along top of left side of	(18) Column 4 Pedestal at Bents 2 and 3: minor spalling, cracking, and efflorescence	No major differences other than minor cracks observed on the columns which were not

Não somente o que diz respeito ao VANT adotado irá limitar as tarefas a desenvolver, os acessórios que equipam o mesmo também são fatores determinantes para a conclusão de suas atividades. Um estudo realizado por Parente, Felix e Picanço (2017) utilizou um VANT de asa fixa para a inspeção de um trecho com extensão de 3,0 km de comprimento da rodovia TO-050. O VANT foi equipado com câmeras *Near Infrared* (NIR) e uma *Red, Green, Blue* (RGB) para a captação de diferentes imagens. Os resultados apontaram que os registros feitos com o modelo RGB geraram dados mais definidos e perceptíveis, evidenciados pela comparação dos remendos no asfalto (Figura 2.4). Nas imagens RGB é possível perceber a diferença entre remendos mais antigos e mais atuais, enquanto nas imagens NIR percebe-se apenas a existência e definição do contorno.



Figura 2.4 – Comparativo entre imagens RGB e NIR. (Parente, Felix e Picanço, 2017)

Na pesquisa de Rakha e Gorodestsky (2018), uma aplicação de modelagem de um edifício residencial da Universidade de Syracuse foi feita com um VANT equipado com câmeras RGB e térmica. Como processamento das imagens, utilizou-se o *software* Pix4Dmapper para modelagem da estrutura em 3D através da triangulação de pontos, e imagens mal capturadas foram descartadas automaticamente. Para o estudo de caso, também se utilizou mais dois *softwares*: DroneDeploy Platform e Agisoft Photoscan. Como resultados, o programa Agisoft Photoscan foi útil, porém o Pix4Dmapper trouxe um modelo 3D mais real, com melhor qualidade e textura apesar de levar mais tempo para processamento das imagens, além de ter combinado melhor as imagens RGB e térmicas. DroneDeploy Platform trouxe algumas melhorias em pontos específicos, como a captura de poças de água no telhado.

Para Lizarazo (2017 *apud* RAKHA e GORODETSKY, 2018, p. 257) imagens RGB são melhores que as térmicas devido a resolução espacial ser mais otimizada, sendo esse tipo de imagem utilizada por ele na construção de um modelo 3D. Além disso, outros autores apontam que as fotos RGB são melhores para a criação do modelo 3D para posterior aplicação da camada das imagens térmicas, uma vez que as imagens RGB apontam ser mais bem sucedidas para esta tarefa.

A análise comparativa feita por Omar e Nehdi (2017) conduziu a inspeções utilizando VANT multirrotor equipado com câmera térmica para a identificação de delaminação do betão do tabuleiro de duas pontes no Canadá. As imagens térmicas foram tratadas no programa MATLAB através do algoritmo K-Médias com algumas modificações, no qual foram criados os mapas de áreas delaminação do betão. Ensaio tradicionais requeridos pelo Ministério dos Transportes local fizeram o mapeamento de áreas delaminadas com sondagens à percussão. A inspeção com o VANT concluiu que a área delaminada da ponte A foi de 15,4% da área total do seu tabuleiro, enquanto para a ponte B foi de 29,2%. O ensaio à percussão indicou para a ponte A uma área de 17% e para ponte B 32%. Além disso, foi realizado o ensaio de potencial elétrico para determinação das áreas com armaduras corroídas. Apesar da inspeção com o VANT e o ensaio do potencial elétrico registarem informações diferentes, é possível correlacioná-las uma

Capítulo 2

vez que a corrosão de armaduras é uma significativa causa de delaminação do betão devido ao aumento de volume dos varões de aço da armadura que geram tensões superficiais no betão, ocasionando o destacamento do mesmo. Assim, foi possível perceber que os mapas gerados possuem áreas muito similares, evidenciando que áreas com existência de delaminação há um grande potencial elétrico, conforme ilustrado na Figura 2.5.

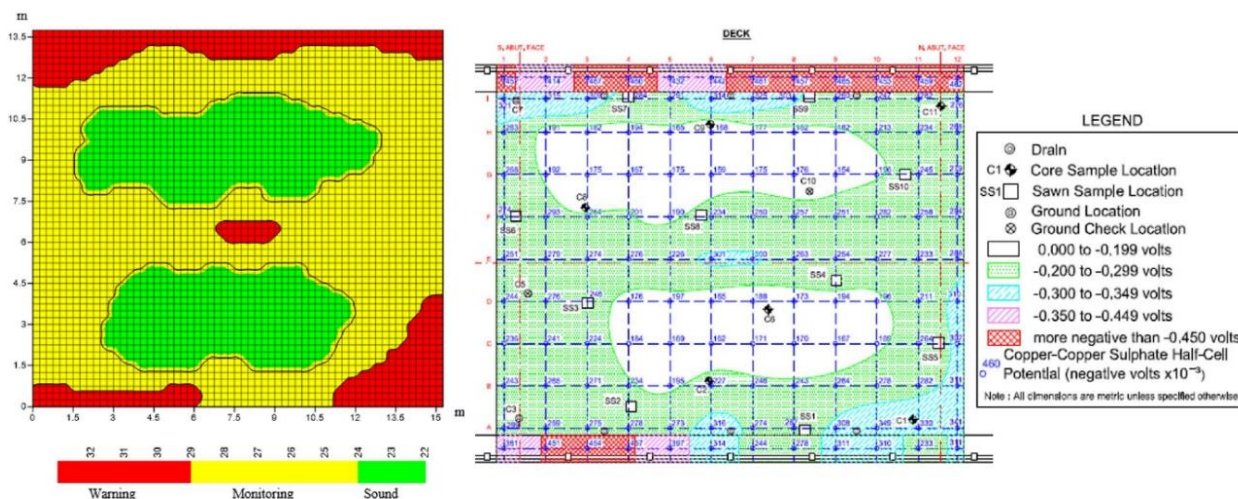


Figura 2.5 – Mapas de delaminação (esquerda) e potencial elétrico (direita) da ponte A. (Adaptado de Omar e Nehdi, 2017)

Sarkis e Sarkis (2016) aplicaram VANT na inspeção de três pontes da BR01 no Espírito Santo (Brasil), utilizado como base para projeto de modificação da via que passa em cima da ponte. As imagens foram coletadas por uma equipa de campo, a qual captou imagens de patologias pontuais e patologias disseminadas. Para as patologias disseminadas, foi criado um painel de fotografias para mapear de forma geral as anomalias (sendo permitido a perda de qualidade das imagens), e depois realizada uma análise minuciosa com fotos específicas de cada ponto onde se encontra anomalia. A equipa de escritório completou o trabalho da equipa de campo com o uso de *softwares* para o processamento de imagens. O uso de VANT para a inspeção das pontes foi de grande ajuda uma vez que evitou a paralisação das vias para as inspeções, a parte inferior do tabuleiro tornou-se acessível as inspeções uma vez que os cursos de água não facilitam o seu acesso, evitando a utilização de equipamentos pesados e com custos associados normalmente bastantes elevados. Por outro lado, algumas limitações foram encontradas, como por exemplo, rajadas de ventos que desestabilizam o VANT, acesso a ferramentas em geral que sejam necessárias para atuar diretamente sobre as superfícies a inspecionar (como por exemplo: remoção de vegetação, líquens, manchas de sujidade, depósitos não naturais, etc.) para investigar melhor a anomalia encontrada.

Além de estruturas como pontes, torres geradoras de energia eólicas também tem sido alvo de inspeções com VANT devido a inúmeras vantagens. Para Ian Glenn, *Chief Executive Officer* (CEO) da empresa ING Robotic Aviation, empresa fabricante no ramo de VANTS, em entrevista à Inside Inmanned Systems (2015, tradução nossa):

O que fizemos com o Capstone mostrou que poderíamos fazer as inspeções com muito mais segurança e rapidez, e resultar em dados que sejam pelo menos tão bons quanto o que eles receberiam de outra forma. No final provamos que o uso de *Unmanned Aerial System* (UAS) para essas inspeções são pelo menos três vezes mais rápidas, 50% mais baratas e resultam em 2/3 menos tempo de inatividade para as turbinas.

Conforme explorado por Rangel, Kienitz e Brandão (2009) e Tudevtagva, Battseren e Hardt (2017), antes da utilização de VANT para inspeção de torres de transmissão de energia elétrica, a primeira alternativa era a utilização de veículos aéreos tripulados que realizassem voos em baixa altitude para monitoramento e manutenção das linhas de transmissão (Figura 2.6), nos quais o inspetor utilizava uma câmera térmica para registo das imagens, porém essa modalidade era economicamente inviável.



Figura 2.6 – Inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica. (Rangel, Kienitz e Brandão, 2009)

Uma metodologia apontada por Tudevtagva, Battseren e Hardt (2017), aborda a inspeção de linhas de transmissão de alta voltagem através de VANT. Sua pesquisa foi desenvolvida em duas fases, sendo a primeira a concepção da metodologia com a criação de *softwares* e protótipos para a realização da tarefa. A segunda fase da pesquisa foi o teste prático do VANT em campo por parte de especialistas da empresa responsável pela administração das linhas de transmissão de energia elétrica. Os dados do teste foram utilizados para melhoria do desempenho do veículo aéreo não tripulado e dos *softwares*. Como resultados, um sistema automatizado de inspeção deve ser capaz de detetar falhas nos isoladores e cabos, e também realizar a inspeção contínua de uma torre a outra, porém este último objetivo é limitado devido a interferência da radiação eletromagnética. Como conclusões encontradas, a inspeção com VANT reduziria tempo, custo e riscos associados a inspeção manual feita por alguma pessoa, entretanto, esta metodologia de inspeção ainda se encontra dependendo da habilidade humana para controle da aeronave e captura das imagens. A solução ideal seria uma inspeção totalmente autônoma.

Capítulo 2

Conforme apontado na pesquisa feita por Rangel, Kienitz e Brandão(2009), foi utilizada uma metodologia que consistiu em adotar dois VANT de asa fixa com câmeras de vídeo acopladas, e em solo foi criada uma estação de controle equipada com computadores, dispositivos que mostrem vídeo em tempo real, controle da aeronave e outros dispositivos com *softwares* específicos. As aeronaves possuem capacidade para voar de forma controlada ou autônoma através de voo com trajetória programada. Para a interação aeronave-piloto, foi utilizado um capacete com visores que possibilitassem a transmissão em tempo real das imagens captadas pelas aeronaves. Para a pesquisa, o piloto decolou a aeronave manualmente, sendo posteriormente automatizada para seguir a tarefa, e quando finalizada, foi pousada manualmente de novo. Uma das principais dificuldades encontradas foi a interferência causada pelo campo eletromagnético gerada pela rede elétrica, conforme também visto por Rangel, Kienitz e Brandão(2009), sendo necessário uma análise detalhada do espaço ideal para a aeronave voar sem nenhum problema de interferência, conforme esquematizado na Figura 2.7. A área representada pela circunferência vermelha indica o espaço no qual o VANT sofre a interferência do campo eletromagnético, enquanto a área da poligonal verde representa o espaço ideal no qual o VANT pode voar sem nenhuma interferência.

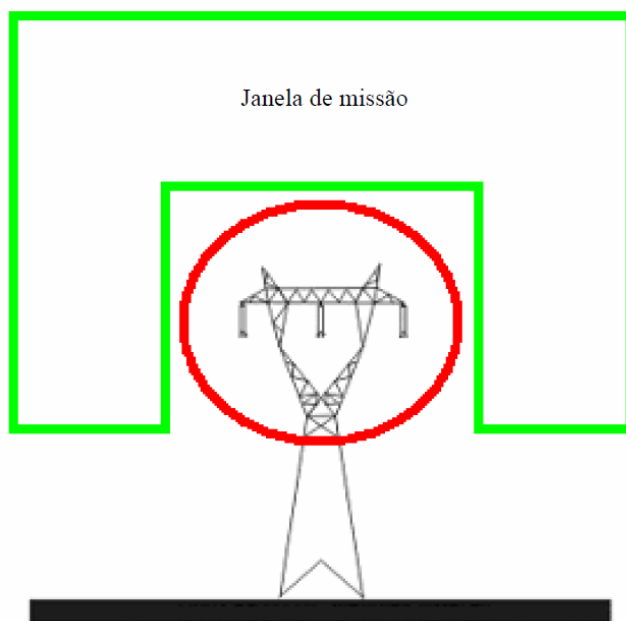


Figura 2.7 – Espaço para realização da missão sem interferência. (Rangel, Kienitz e Brandão, 2009)

Como apontado na metodologia de Seo, Duque e Wacker (2018), deve-se planejar o voo para a realização da inspeção. Diversos fatores limitam a realização das atividades com VANT e a excelência dos resultados. Além do modelo de aeronave, acessórios e pós processamento de imagens, a forma como se conduz o equipamento também pode afetar os resultados. Uma aplicação feita por Roca *et al.* (2014), realizou a modelagem de uma casa localizada na Galícia (Espanha) utilizando um VANT multirotor equipado com sensor laser para captação de nuvem de pontos. Foram realizados dois voos, os quais divergiram no que diz respeito à movimentação do VANT para captação das imagens. O primeiro voo foi feito com a aeronave

realizando movimentos na direção da profundidade da casa, enquanto a segunda abordagem foi feita realizando movimentos na direção da largura da casa. Para avaliar os dados obtidos nas duas metodologias de voo, realizou-se uma terceira captação de dados através de um laser scanner terrestre, sendo esta última coleta de dados considerada como referência. Os resultados das metodologias evidenciaram diferenças no levantamento geométrico das direções em que os VANT realizaram seus movimentos em relação aos valores adotados como referência, conforme indicados na Tabela 2.2, sendo esta a possível causa dessa divergência.

Tabela 2.2 – Resultados do levantamento geométrico feito com VANT. (Adaptado de Roca *et al.*, 2014)

NUVEM DE PONTOS	MEDIÇÃO				
	ALTURA	LARGURA	PROFUNDIDADE	AREA	VOLUME
REFERÊNCIA	5,3	9,0	6,8	61,2	324,36
MÉTODO 1	5,8	9,0	7,7	73,2	424,27
MÉTODO 2	5,2	10,8	7,0	75,6	393,12

Na pesquisa desenvolvida por Ellenberg *et al.* (2016) analisou-se a utilização de VANT para a avaliação de danos em pontes. Em sua metodologia, adotou-se uma aeronave da marca DJI, modelo Phantom, equipado com uma câmera GoPro Hero 3. O uso desta câmera permitiu o acompanhamento em tempo real da captura de imagens devido a aplicação para telemóvel. Além disso, utilizou-se uma outra câmera com resolução equivalente para fins comparativos, que devido ao seu peso não foi acoplada a aeronave, e, portanto, foi utilizada de forma estática e perpendicular à superfície do objeto que se pretendia capturar imagens. Todas as imagens foram posteriormente processadas com calibração da câmera e homografia, sendo esta última ilustrada na Figura 2.8 e definida como a projeção da imagem em um dado plano projetado para outro.

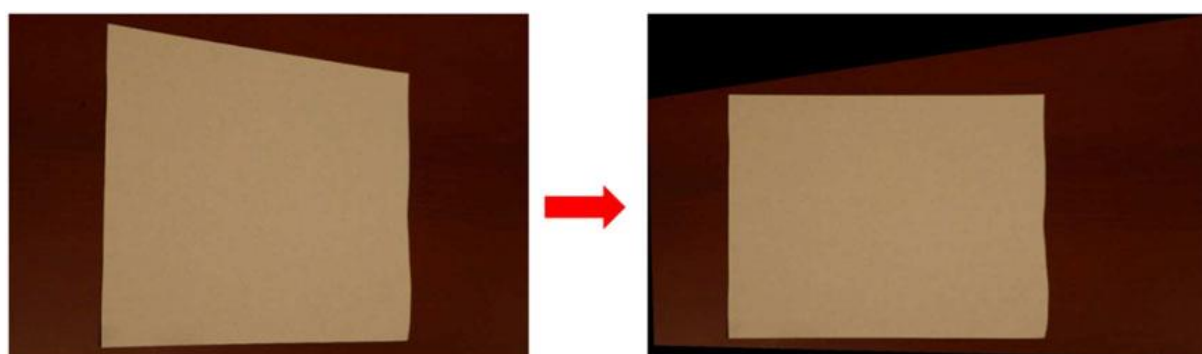


Figura 2.8 – Transformação homográfica de uma imagem. (Ellenberg *et al.*, 2016)

Como alvo das imagens, utilizou-se uma viga metálica para inspecioná-la. Foram realizados os testes para deformação do pino de rolamento metálico e de borracha, deformação da viga com um carregamento pontual à meio vão de 89 kg, e corrosão, com o objetivo de medições. Os resultados são apontados, respectivamente na Tabela 2.3, Tabela 2.4 e Tabela 2.5. Com elas, é possível comparar as medidas feitas

Capítulo 2

com o processamento de imagens e as medidas reais feitas com medidor de distância apropriado, como por exemplo, uma régua. É possível perceber que as medidas são bastante próximas da real, podendo validar a metodologia usada no processamento das imagens.

Tabela 2.3 – Resultados do deslocamento do pino em mm. (Adaptado de Ellenberg *et al.*, 2016)

PINO DE ROLAMENTO	Metálico	Borracha	Deslocamento
Real	16,5 ± 0,4	7,6 ± 0,4	8,9 ± 0,8
GoPro	16,4 ± 0,7	7,3 ± 0,8	9,1 ± 1,5
Nex 7	16,9 ± 0,7	7,3 ± 0,5	9,6 ± 1,2

Tabela 2.4 – Resultados da deformação da viga. (Adaptado de Ellenberg *et al.*, 2016)

SISTEMA DE MEDIÇÃO	Real	GoPro	NEX7
Média [pixels]	N/A	2,58	2,38
Média [mm]	3,84	4,65	5,38
Desvio Padrão [mm]	0,01	3,59	2,45

Tabela 2.5 – Resultados do ensaio de corrosão. (Adaptado de Ellenberg *et al.*, 2016)

MEDIÇÃO	Régua			UAV Manual			UAV K-Means			Estático	
	Área [mm]	Aumento [%]	Desvio [%]	Área [mm]	Aumento [%]	Desvio [%]	Área [mm]	Aumento [%]	Desvio [%]	Área [mm]	Aumento [%]
Pequeno	3811	0	15	3632	0	10	3739	0	13	3308	0
Médio	6452	169	-1	6342	175	-3	5784	155	-12	6550	198
Grande	10,161	267	5	9312	256	-4	10,247	274	6	9699	293

Além dos ensaios para medição, a execução de um algoritmo que fosse capaz de identificar fissuras em fotografias e evidenciá-las foi testado. Utilizou-se imagens genéricas *online* pesquisadas em buscadores na *internet*, e os resultados são observados na Figura 2.9. Além das imagens *online*, também se realizou a captura de fotos com o VANT e os resultados foram satisfatórios. Apesar das figuras *online* apresentarem fissuras bastante simples, acreditou-se que o algoritmo fosse capaz de apresentar resultados positivos para condições mais complexas de fissuras, porém será necessário a análise minuciosa das condições em que as fotografias são captadas, como por exemplo luminosidade, sombras e outros fatores que possam interferir. Os resultados indicaram que as técnicas adotadas na pesquisa podem ser usadas no futuro para auxiliar inspeções mais seguras, frequentes e potencialmente menos onerosas e permitir uma medida de correção mais bem embasada em mais evidências e pormenores.

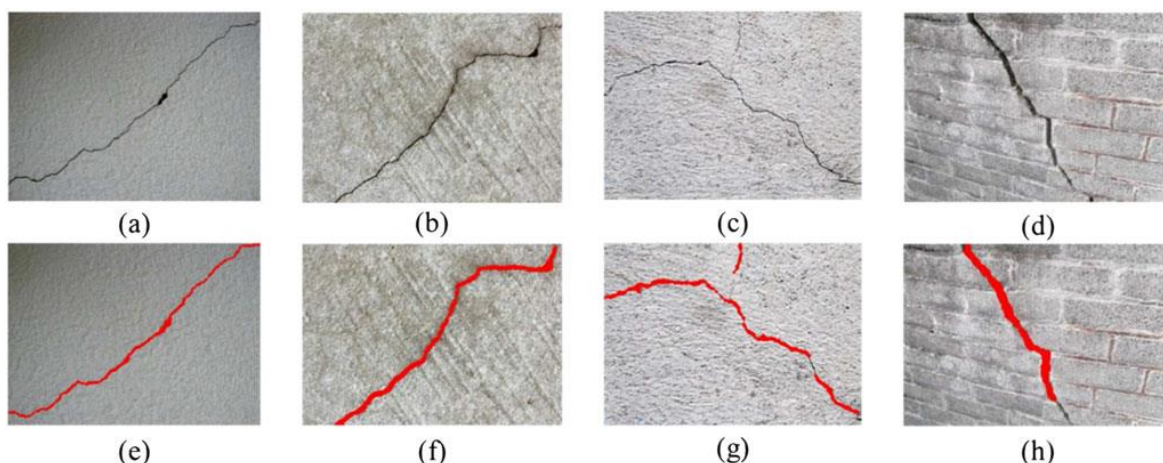


Figura 2.9 – Resultado do algoritmo de detecção de fissuras: (a) até (d) antes e (e) até (h) após execução do algoritmo.

O VANT pode realizar o voo de forma controlada remotamente por alguém ou então pode-se utilizar alguma programação que automatize o percurso do aparelho. Isso é discutido na pesquisa de Li (2015), em que as aeronaves podem ser controladas no exato momento ou podem ser programadas para realizar voos autônomos. A programação do voo permite o manuseio dos pontos de interesse pelos quais o equipamento irá percorrer para realizar sua tarefa de forma simples através de funções, como por exemplo, “Remover” para o caso de excluir algum ponto e “Adicionar” para incluir algum novo ponto. O programa deve garantir o gerenciamento do voo e ser capaz de processar a informação. De acordo com o levantamento realizado por Agostinho (2012), os *softwares* Waypoints e weGCS são capazes de definir através de mapas os pontos pelos quais o VANT irá realizar o percurso.

Segundo PIX4D (2019a), empresa especializada no desenvolvimento de *softwares* de processamento de imagens, para objetos com grandes dimensões verticais, a sua modelagem pode ser feita a partir de imagens capturadas por VANT que realizem uma trajetória circular ao redor do objeto (Figura 2.10), a rodear o mesmo diversas vezes, com sobreposição de imagens de 90% a mesma altura e 60% a alturas diferentes. Este tipo de varredura requer um voo autônomo, uma vez que para garantir o formato da trajetória, a aeronave deverá ser previamente programada.

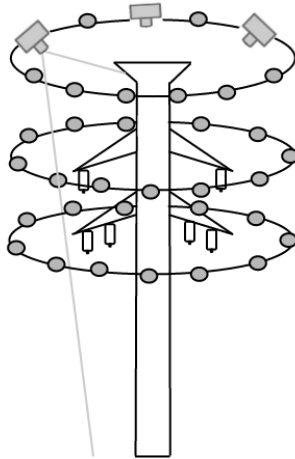


Figura 2.10 – Trajetória de voo do VANT para modelagem de torres. (PIX4D, 2019)

Além da captura e processamento de imagens, segundo Popescu (2002), a tecnologia Light Detection and Ranging (LIDAR) também é capaz de captar informação que contribua para inspeções. Consiste em uma tecnologia que permite a aquisição de informações tridimensionais da superfície terrestre com bastante precisão. Bastos e Filho (2012) definem em seu estudo LIDAR como um sensor remoto capaz de realizar uma varredura de informações do terreno e dos demais objetos, conforme indicado na Figura 2.11, com posterior processamento de dados em *softwares* próprios de leitura e analisados de formas diversas.

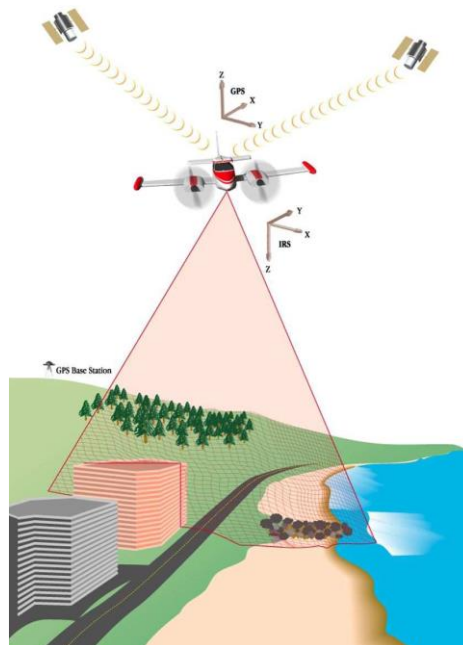


Figura 2.11 – Varredura com sistema LIDAR. (Bastos e Filho, 2012)

Os estudos apresentados refletem as inúmeras possibilidades e combinações de mecanismos que podem ser adotados na aplicação de VANT na inspeção de estruturas. Apesar de contribuir significativamente para as inspeções de estruturas, ainda possuem limitações que devem ser levadas em consideração. Uma

análise mais pormenorizada e planeada permitirá ajudar na escolha certa de quais metodologias, equipamentos e técnicas deverão ser adotados para cada situação.

CAPÍTULO 3

INSPEÇÕES DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

A inspeção de estruturas objetiva avaliar o estado de conservação da mesma para permitir adotar medidas corretivas necessárias de acordo com a situação encontrada. Ela é compreendida pela coleta e apresentação de informações que permitem caracterizar a estrutura e avaliar seu estado efetivo. Inclui técnicas específicas, desde a inspeção visual até ensaios de diagnóstico e caracterização dos materiais. Por fim, é possível gerar um relatório técnico que inclua todos os levantamentos, resultados e conclusões da inspeção.

Inspeções se fazem necessárias por serem de caráter rotineiro, ou também devido a existência de anomalias visíveis ou suspeitas, ocorrência de acidentes, intenção de alterar a geometria, uso ou ações na estrutura, e para avaliações imobiliárias e compra de imóveis. Elas podem ser realizadas por equipas pertencentes ao próprio dono da obra, ou por equipas contratadas terceirizadas especializadas nesse tipo de atividade. Ocorre em duas fases, sendo elas a inspeção preliminar e inspeção detalhada.

3.1 INSPEÇÃO PRELIMINAR

A inspeção preliminar é a primeira etapa da inspeção, realizada objetivando obter uma visão sob a óptica global do que se busca investigar. Esta fase inicia-se com a proposta de trabalhos de inspeção e respetivo custo, além dos pedidos de autorizações para acesso à obra e recolha de informações a respeito dela para que se possa estudar a mesma e entender seu funcionamento e condições. Nesta etapa, é possível planejar com melhor profundidade o que será realizado na inspeção detalhada, como por exemplo a necessidade de estudos complementares.

3.1.1 Levantamento de informações

As informações a respeito da estrutura podem ser obtidas através de documentos existentes pertinentes a mesma, como por exemplo, projeto da obra (plantas, memórias de cálculo, memorial descritivo com especificações técnicas, ensaios geotécnicos, etc.), registos da construção (diário de obra, ensaios dos materiais, alterações do projeto, etc.), registos fotográficos e em vídeos, projetos e documentos de

intervenções anteriores de alterações ou reparações, informação sobre estruturas similares ou vizinhas, e identificação dos envolvidos no projetos, construção e reparações. Potenciais fontes de informação são os próprios donos da obra, projetista da estrutura original e das posteriores intervenções, empreiteiros da construção original e posteriores intervenções, fiscalização, arquivos públicos e históricos, regulamentação e normas vigentes da época.

3.1.2 Levantamento geométrico

Este levantamento pode ser realizado através dos desenhos obtidos durante o levantamento de informações como também pode ser feito um levantamento *in situ*. Ele propõe uma representação espacial da estrutura através de plantas, alçados e cortes. Através deste levantamento pretende-se identificar todos os componentes estruturais, conhecer suas dimensões e nomeá-los. A identificação e nomeação dos elementos estruturais é muito importante no que diz respeito à organização para que durante a inspeção detalhada seja fácil identificação do elemento e apontamento de anomalias presentes no mesmo. A Tabela 3.1 contém uma possível forma de descrever a nomeação dos principais elementos estruturais, podendo ser alterada conforme necessidade do inspetor.

Tabela 3.1 – Lista de siglas dos elementos estruturais. (Acervo do autor)

SIGLA	DESCRIÇÃO
S	Sapata
BL	Bloco
P	Pilar
PA	Parede
V	Viga
VB	Viga baldrame
LM	Laje maciça
LA	Laje aligeirada
E	Escada
JD	Junta de dilatação

3.1.3 Levantamento de anomalias

Durante a inspeção preliminar, realiza-se em campo um levantamento geral das anomalias encontradas. Esse levantamento pode ser documentado através da criação de uma lista, organizada na forma de tabela composta por duas colunas, sendo a primeira coluna destinada a um código e a segunda a uma descrição. O código é composto pela letra “A” seguida de uma numeração sequencial. Esta lista irá auxiliar na inspeção detalhada para uma fácil identificação e marcação das anomalias nos registros da inspeção. A Tabela 3.2 exemplifica um modelo de lista de anomalias.

É importante ressaltar que a lista de anomalias preparada na inspeção preliminar nem sempre é definitiva, podendo novas anomalias serem identificadas na inspeção detalhada. Por tal motivo, é comum se deixar alguns espaços na lista para possível preenchimento durante a inspeção detalhada, conforme exemplificado com a anomalia A24 da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Lista genérica de anomalias. (Acervo do autor)

CÓDIGO	ANOMALIAS
A1	Destacamento do betão
A2	Fendilhação
A3	Delaminação
A4	Armadura exposta
A5	Corrosão da armadura
A6	Corrosão de chapas e perfis metálicos
A7	Eflorescência
A8	Manchas de humidade
A9	Manchas de ferrugem
A10	Pinturas indesejadas
A11	Colagens indesejadas
A12	Vegetação indesejada
A13	Rugosidade no betão
A14	Bolhas de ar
A15	Ninho de brita
A16	Escorrência
A17	Fios indesejados
A18	Desalinhamento da estrutura
A19	Segregação do betão
A20	Proliferação de líquen
A21	Furo para instalação de equipamentos
A22	Destacamento do revestimento
A23	Junta de betonagem
A24	(Descrição da anomalia)

3.1.4 Levantamento de causa

Com base nas informações recolhidas a respeito da estrutura e as anomalias identificadas, realiza-se então o levantamento das possíveis causas das anomalias. Ela é organizada de maneira análoga a lista de anomalias, divergindo apenas na formação do código: representado pela letra “C” seguido de uma numeração sequencial. A Tabela 3.3 exemplifica uma lista de causas.

Similar a lista de anomalias, é importante ressaltar que a lista de causas preparada na inspeção preliminar também nem sempre é definitiva, podendo novas causas serem identificadas na inspeção detalhada. Por tal motivo, é comum se deixar alguns espaços na lista para possível preenchimento durante a inspeção detalhada, conforme exemplificado com a causa C31 da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Lista genérica de causas. (Acervo do autor)

CÓDIGO	CAUSAS
C1	Má execução das cofragens
C2	Má vibração do betão
C3	Descalcificação do betão
C4	Corrosão da armadura
C5	Carbonatação
C6	Penetração de cloretos
C7	Humidade
C8	Falta de manutenção
C9	Falta de recobrimento
C10	Erro de projeto
C11	Exposição ao tempo
C12	Retração plástica do betão
C13	Escorrência de água
C14	Impacto físico
C15	Erosão
C16	Presença de vazios no concreto
C17	Vandalismo
C18	Falta de betão asfáltico na junção da calçada e elemento estrutural
C19	Má execução ou qualidade da argamassa colante
C20	Erro na escolha dos componentes do betão
C21	Erro de execução
C22	Armadura insuficiente
C23	Uso indevido
C24	Reação álcalis-sílica
C25	Assentamento plástico
C26	Fadiga da estrutura
C27	Lançamento incorreto do betão
C28	Retração do betão
C29	Porosidade do betão
C30	Grande volume
C31	(Descrição da causa)

3.1.5 Preparação das fichas de inspeção

A ficha de inspeção é uma maneira organizada de compilar e apresentar as informações coletadas na fase da inspeção detalhada. Não existe um modelo certo ou errado de ficha de inspeção, mas sim um modelo adequado para cada situação. O modelo proposto nesta seção será o utilizado para o estudo de caso deste trabalho.

A Figura 3.1 ilustra a primeira página da ficha. Nela é apresentada uma fotografia da vista geral do elemento estrutural inspecionado e uma planta indicando sua localização no plano geral da estrutura. O cabeçalho da ficha é comum a todas as páginas e nele constam informações essenciais: número da ficha, nome da obra, dono da obra, localização da obra, data da inspeção, hora da inspeção, tempo, e nome dos inspetores. Na fotografia da vista geral são identificados os pontos das anomalias que são especificados e descritos nas páginas seguintes da ficha, conforme Figura 3.2.

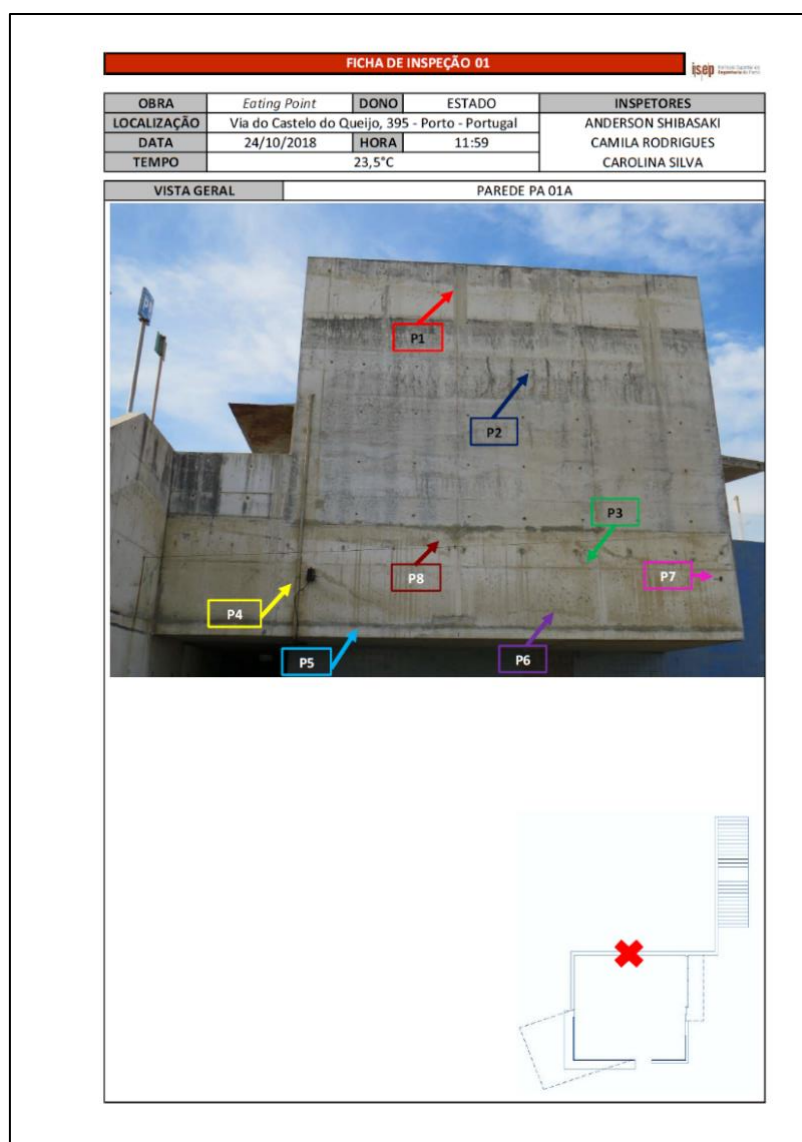


Figura 3.1 – Primeira página da ficha de inspeção. (Acervo do autor)




FICHA DE INSPEÇÃO 01				isep	
OBRA	Eating Point	DONO	ESTADO	INSPETORES	
LOCALIZAÇÃO	Via do Castelo do Queijo, 395 - Porto - Portugal			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	24/10/2018	HORA	11:59	CAMILA RODRIGUES	
TEMPO	23,5°C			CAROLINA SILVA	
ELEMENTO ESTRUTURAL			PAREDE PA 01A		
Foto da anomalia			Descrição		
			<p>Observa-se a ocorrência de efloração (A7), bolhas de ar (A14) e corrosão da armadura (A5).</p> <p>A efloração é de cor acastanhada na parte inferior da parede e branca na superior. As bolhas de ar são generalizadas.</p> <p>As possíveis causas para a efloração é descalcificação do betão (C3) ou reação álcali sílica (C24). As regiões de cor castanha indicam que há corrosão na armadura, causada por carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6). As bolhas de ar decorrem da má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do concreto (C2).</p>		
			<p>Regista-se a ocorrência de fendilhação (A2), manchas de humidade (A8), manchas de ferrugem (A9) e corrosão da armadura (A5). Fendilhação na direção vertical de forma regular coincidente com a posição das armaduras. As manchas de humidade e manchas de ferrugem estão generalizadas.</p> <p>A possível causa para fendilhação é o assentamento plástico (C26) do betão fresco junto das armaduras.</p> <p>As manchas de humidade ocorrem devido à exposição ao tempo (C11). As manchas de ferrugem indicam que há corrosão na armadura, causada por carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6).</p>		
			<p>Observa-se a existência de fios indesejados (A17).</p> <p>O fio é circular, de cor branca, comprimento curto e recolhido de forma organizada.</p> <p>A possível causa para a existência de tal fio é erro no projeto (C10) de instalações elétricas/sistemas.</p>		

Figura 3.2 – Páginas intermediárias da ficha de inspeção. (Acervo do autor)

A última página da ficha de inspeção (Figura 3.3), além de contar as mesmas informações que as demais páginas intermediárias, ela contém um resumo das anomalias encontradas no elemento estrutural inspecionado e a avaliação do seu estado de conservação.


FICHA DE INSPEÇÃO 01							
OBRA	Eating Point	DONO	ESTADO			INSPETORES	
LOCALIZAÇÃO	Via do Castelo do Queijo, 395 - Porto - Portugal				ANDERSON SHIBASAKI		
DATA	24/10/2018	HORA	11:59		CAMILA RODRIGUES		
TEMPO	23,5°C				CAROLINA SILVA		
ELEMENTO ESTRUTURAL		PAREDE PA 01A					
Foto da anomalia				Descrição			
				<p>Observa-se a existência de fios indesejados (A17), corrosão de chapas e perfis metálicos (A6) e desalinhamento da estrutura (A18). Os fios indesejados são curtos e pontuais, enquanto o desalinhamento da estrutura de betão é generalizado.</p> <p>A causa dos fios indesejados é uso indevido (C23) da estrutura de betão para pendurá-los. A corrosão de chapas e perfis metálicos ocorre por falta de manutenção (C8) e exposição ao tempo (C11). O desalinhamento da estrutura é devido à má execução das cofragens (C1).</p>			
				<p>Regista-se armadura exposta (A4), corrosão da armadura (A5), desalinhamento da estrutura (A18), bolhas de ar (A14) e manchas de ferrugem (A9).</p> <p>A armadura exposta ocorre em 3 pontos da parede com cor acastanhada. O desalinhamento da estrutura e as bolhas de ar são generalizadas na parede.</p> <p>A possível causa para o desalinhamento do betão é a má execução das cofragens (C1). As bolhas de ar são ocasionadas pela má execução da cofragem (C1) e/ou má vibração do betão (C2). A armadura exposta decorre da falta de recobrimento (C9) da armadura juntamente com a carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6). As manchas de ferrugem são causadas pela corrosão da armadura (C4).</p>			
RESUMO DE ANOMALIAS:		A2, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A13, A14, A17, A18					
ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
Elemento Estrutural	N	D	E	F	C	EC	ALERTA
PAREDE PA 01A	1	1	1	0	0	3	v

Figura 3.3 – Última página da ficha de inspeção. (Acervo do autor)

3.2 INSPEÇÃO DETALHADA

É a fase que sucede a inspeção preliminar. Nesta etapa, a inspeção deve abranger toda a estrutura envolvida, implicando um acesso visual a todos os elementos estruturais para que seja possível o levantamento de todas as anomalias e posteriormente caracterizá-las e avaliar os estados de conservação da estrutura. A eventual realização de ensaios para caracterização mais completa das anomalias é feita nesta etapa da inspeção.

3.2.1 Equipamentos

Para a realização da inspeção detalhada, são utilizados comumente os seguintes equipamentos, conforme necessidade:

- a) **Visibilidade:** lanterna, binóculos, espelho, pincéis de limpeza;
- b) **Meios de medição:** trena, medidor de distância a laser, paquímetro, nível;
- c) **Recolha de amostras:** máquina de furar, sacos para recolha das amostras;
- d) **Registo escrito:** papel, fichas de inspeção, giz, lápis, caneta, borracha, prancheta;
- e) **Registo visual:** câmara fotográfica, câmara de vídeo;
- f) **Genérico:** martelo, ponteira, extensão elétrica;
- g) **Meios de acesso:** escada, andaimes, plataforma elevatória;
- h) **EPI:** capacete, luvas, botas, colete.

3.2.2 Caracterização das Anomalias

As anomalias devem ser caracterizadas pela cor (por exemplo: branco, castanho, amarelado, etc.), aspecto (por exemplo: seco, húmido, molhado, etc.), dimensão (por exemplo: curto, médio, generalizado, pontual, ou quantificar algum valor numérico), orientação (por exemplo: transversal, longitudinal, vertical, horizontal, etc.), forma (por exemplo: circular, irregular, etc.) e espessura (por exemplo: pequena, média, grande, ou quantificar algum valor numérico).

A seguir serão descritas as anomalias normalmente encontradas em estruturas de betão armado.

3.2.2.1 Destacamento do betão

O destacamento do betão (Figura 3.4) ocorre quando uma camada do betão se desprende do resto do elemento. Isso acontece em regiões mais frágeis em que o betão perde aderência com a armadura ou em regiões onde o betão sofreu algum impacto grande ou contínuo não previsto em projeto.

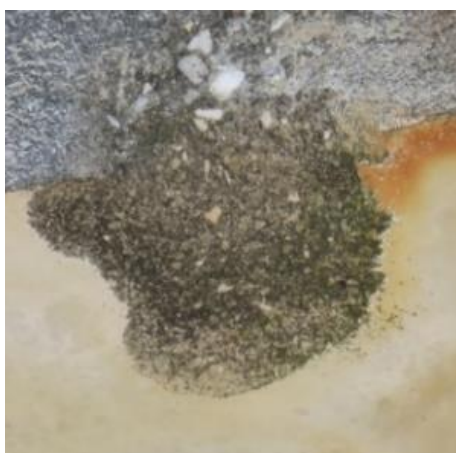


Figura 3.4 – Exemplo de destacamento do betão. (Acervo do autor)

3.2.2.2 Fendilhação

A fendilhação (Figura 3.5) consiste no surgimento de fendas na superfície do betão. As fendas são um reflexo da existência de forças de tração, podendo ter diversas causas, como por exemplo: colocação incorreta das armaduras, cura deficiente do betão, assentamento plástico do betão, remoção prematura das cofragens, esforços maiores que os previstos, variação da temperatura no betão, assentamento nos apoios ou impactos físicos.



Figura 3.5 – Exemplo de fendilhação . (Acervo do Autor)

3.2.2.3 Delaminação

A delaminação do betão (Figura 3.6) ocorre quando uma camada não está aderida totalmente ao betão, mas ainda existe uma ligação com o resto do elemento estrutural, ou seja, ele ainda não se desprende como no destacamento. Isso ocorre em regiões mais frágeis em que o betão perde aderência com a armadura ou em regiões onde o betão sofreu algum impacto grande ou contínuo não previsto em projeto.



Figura 3.6 – Exemplo de delaminação do betão. (Acervo do autor)

3.2.2.4 Armadura Exposta

A armadura fica exposta (Figura 3.7) quando não há uma camada de betão para protegê-la. A proteção dos varões de aço pelo betão é necessária pela grande facilidade de corrosão das armaduras em contato com água e ar. Quando há recobrimento insuficiente ou destacamento do betão, a armadura fica exposta exponenciando o processo de corrosão.



Figura 3.7 – Exemplo de armadura exposta. (Avervo do autor)

3.2.2.5 Corrosão da Armadura

A corrosão deixa as armaduras com coloração acastanhada e pode gerar fissuração, destaque ou delaminação do betão. A armadura está geralmente protegida no interior do betão por uma película passivante devido ao alto pH do betão.

O processo da corrosão das armaduras (Figura 3.8) pode ocorrer quando há perda da película passivante ou das propriedades alcalinas do betão. Por conta dessas perdas, o betão deixa de ser suficiente para a proteção da armadura. Esses processos são exacerbados quando há falta de recobrimento, quando as fissuras chegam à armadura, quando o betão sofre carbonatação ou quando há penetração de cloretos no betão.



Figura 3.8 – Exemplo de armadura corroída. (Acervo do autor)

3.2.2.6 Corrosão de Chapas e Perfis Metálicos

As chapas e perfis metálicos não protegidos, quando em contato com a atmosfera, água ou solo estão sujeitas a corrosão. A corrosão em chapas e perfis metálicos (Figura 3.9) representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como: desgaste, variações químicas ou modificações estruturais. Assim, a região corroída passa a ser mais frágil que as outras. Quando em contato com o betão, este por ser danificado pelo material metálico corroído.



Figura 3.9 – Exemplo de corrosão de chapas e perfis metálicos. (Acervo do autor)

3.2.2.7 Eflorescências

As eflorescências (Figura 3.10) são depósitos de sais cristalizados que aparecem na superfície do betão endurecido pela percolação de água no interior do betão. Desenvolvem-se sobretudo devido à sais solúveis e matéria orgânica existente nos agregados ou na água de amassamento. Possuem cor branca e quando há corrosão da armadura ou de perfis metálicos a coloração é acastanhada.



Figura 3.10 – Exemplo de eflorescência. (Acervo do autor)

3.2.2.8 Manchas de Humidade

As manchas de humidade (Figura 3.11) são causadas pela exposição do betão ao tempo. Isso indica presença de água absorvida pela superfície do betão, que pode gerar fragilidade em pontos onde o betão tem menos qualidade e propicia corrosão da armadura, além de ser prejudicial esteticamente.

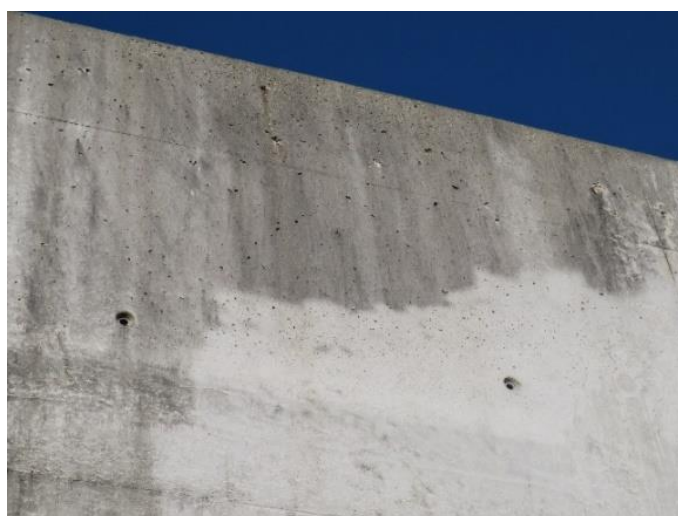


Figura 3.11 – Exemplo de mancha de humidade. (Acervi do autor)

3.2.2.9 Manchas de ferrugem

Manchas de ferrugem (Figura 3.12), são manchas castanhas ou avermelhadas no betão. Elas indicam a presença de armadura corroída no interior do betão ou a presença de algum elemento de metal corroído na estrutura. O óxido de ferro desses materiais corroídos carregado pela água na superfície do betão também pode gerar tais manchas.



Figura 3.12 – Exemplo de manchas de ferrugem. (Acervo do autor)

3.2.2.10 Pinturas indesejadas

Pinturas indesejadas (Figura 3.13) ocorrem por atos de vandalismo em superfícies expostas do betão. As tintas podem ser prejudiciais ao betão por conter componentes não previstos no projeto da estrutura que possam afetar os componentes do betão



Figura 3.13 – Exemplo de pinturas indesejadas. (Acervo do autor)

3.2.2.11 Colagens indesejadas

Colagens indesejadas (Figura 3.14) ocorrem por atos de vandalismo em superfícies expostas do betão. Assim como as tintas, as colas e o material colado podem ser prejudiciais ao betão por conter componentes não previstos no projeto da estrutura que possam afetar os componentes do betão.



Figura 3.14 – Exemplo de colagem indesejada. (Acervo do autor)

3.2.2.12 Vegetação indesejada

Vegetações indesejadas (Figura 3.15) são tufo de grama que surgem na junção dos elementos de betão com o solo quando não é feito o isolamento correto do solo. Isso permite que a água acumulada no solo fique em contato com o betão, tornando a área em um local com humidade constante e promover outras anomalias.



Figura 3.15 – Exemplo de vegetação indesejada. (Acervo do autor)

3.2.2.13 Rugosidade do betão

A rugosidade do betão (Figura 3.16) ocorre quando não se tem o cuidado de deixá-lo com a superfície lisa. Isso é prejudicial ao betão, porque agrava os efeitos da erosão e causa acúmulo de água e sais. A rugosidade é geralmente causada por erros no projeto, execução das cofragens, ou erosão.



Figura 3.16 – Exemplo de rugosidade do betão. (Acervo do autor)

3.2.2.14 Bolhas de ar

As bolhas de ar (Figura 3.17) são anomalias que ocorrem junto à superfície dos elementos de betão armado, podendo também ocorrer no seu interior. As principais causas desta anomalia são: granulometria mal escolhida dos agregados (ausência dos finos), segregação dos agregados, baixa razão água/cimento, deficiente vibração (má compactação do betão), ou cofragem mal executada.

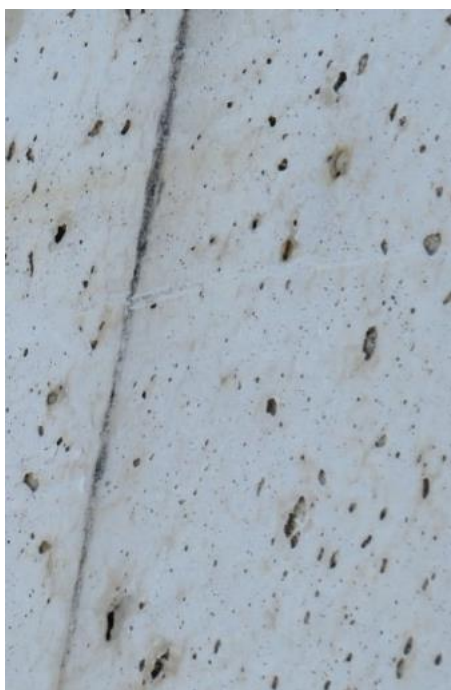


Figura 3.17 – Exemplo de bolhas de ar. (Acervo do autor)

3.2.2.15 Ninho de brita

Também popularmente conhecido por bicheira, os ninhos de brita (Figura 3.18) ocorrem quando o betão não foi bem executado. Por conta disso há um acúmulo de agregados em determinadas regiões do betão sem a pasta de cimento os envolvendo. Quando o betão não está homogêneo, facilita-se a entrada de agentes agressivos indesejados no seu interior, que causam corrosão das armaduras e deterioração do betão.



Figura 3.18 – Exemplo de ninho de brita. (Acervo do autor)

3.2.2.16 Escorrência

A escorrência (Figura 3.19) ocorre quando um fluído circula na superfície ou interior do betão. Quando o material que está a escorrer é a água, isso indica que há presença de grande humidade na região. Quando a água está acompanhada de pasta de cimento é um indicativo de perda de constituintes do betão.



Figura 3.19 – Exemplo de escorrência. (Acervo do autor)

3.2.2.17 Fios indesejados

Fios indesejados (Figura 3.20) são causados pelo uso inadequado dos mesmos nas estruturas de betão quando o projeto de instalações é deficiente. Os fios quando não previstos em projetos e mal protegidos podem gerar uma carga elétrica maior que a esperada em algumas seções. Além disso, dependendo da forma que estão colocados podem representar pontos de acúmulo de água e também afetar visualmente a estrutura, podendo afetar a resistência da estrutura quando executados furos para passagem dos mesmos sem estudo de viabilidade prévio.

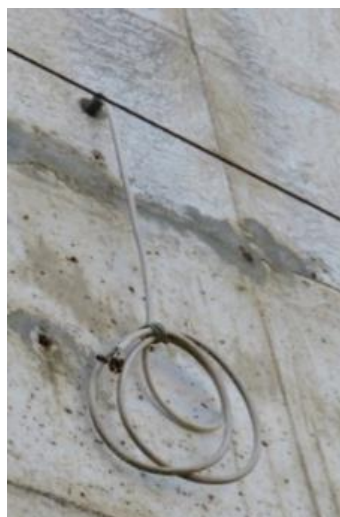


Figura 3.20 – Exemplo de fio indesejado. (Acervo do autor)

3.2.2.18 Desalinhamento do betão

O desalinhamento do betão (Figura 3.21) são descontinuidades visíveis onde o betão não tem uma ligação forte e uniforme. Acontecem quando um betão novo é colocado sobre um betão com mais idade ou em fase de execução. Dessa forma, o novo betão não adere corretamente ao betão inicial ficando entre eles uma separação visível. É também ocasionado por erro de execução das cofragens.



Figura 3.21 – Exemplo de desalinhamento do betão nas juntas das cofragens. (Acervo do autor)

3.2.2.19 Segregação do betão

A segregação (Figura 3.22) corresponde a distribuição não uniforme dos constituintes do betão. Há a deposição dos agregados com surgimento da pasta e finos à superfície, fazendo com que a separação dos agregados finos dos maiores crie passagens para que agentes agressivos penetrem no betão. Ocasionalmente ocasionada geralmente pela má escolha da composição do betão, incorreto lançamento do betão ou excesso de vibração.



Figura 3.22 – Exemplo de segregação do betão. (Acervo do autor)

3.2.2.20 Proliferação de líquens

Os líquens (Figura 3.23) são formados pela associação mutualística entre fungos e algas. Como essa anomalia resulta da ação de organismos vivos, os fatores condicionantes para que esta anomalia se estabeleça são: água (ambientes húmidos), disponibilidade de nutrientes (aditivo orgânico utilizado na preparação do betão ou argamassa), pH mais básico e temperaturas entre 20°C e 30°C.



Figura 3.23 – Exemplo de proliferação de líquens. (Acervo do autor)

3.2.2.21 Furo para instalação de equipamentos

Os furos para instalação de equipamentos (Figura 3.24) decorrem do impacto de algum equipamento de forma a perfurar o betão. Esses furos devem ser fechados para que não virem uma passagem de agentes agressivos ou ambiente para acúmulo de água.



Figura 3.24 – Exemplo de furos para instalação de equipamentos. (Acervo do autor)

3.2.2.22 Destacamento do revestimento

O destacamento do revestimento (Figura 3.25) ocorre quando a camada de revestimento se desprende do betão. Isso ocorre por uso inadequado de material aderente ou humidade do local. A ausência do revestimento torna o betão mais suscetível à ação de agentes agressivos.



Figura 3.25 – Exemplo de destacamento do revestimento. (Acervo do autor)

3.2.2.23 Junta de betonagem

A junta de betonagem (Figura 3.26) ocorre quando a estrutura é executada por etapas diversas, sendo constituída por betões de diferentes idades, não aderidos entre si. Isso ocorre devido à um grande volume de betão, característicos de betonagens em etapas, ou por má execução das cofragens.



Figura 3.26 – Exemplo de junta de betonagem. (Acervo do autor)

3.2.3 Ensaios de Diagnóstico

No caso em que se façam necessários, os ensaios de diagnóstico poderão ser realizados com o intuito de sanar eventuais dúvidas que a inspeção possa trazer, através da caracterização de materiais com a determinação de algumas de suas propriedades.

É de se salientar que este trabalho não serão realizados ensaios na inspeção da Torre do Monte da Virgem devido a falta de recursos e tempo, entretanto, os ensaios existente comumente utilizados serão abordados a seguir.

3.2.3.1 Detecção de armaduras

Antes da realização de qualquer ensaio, faz-se necessário conhecer a posição das armaduras, o seu diâmetro e a profundidade. Para este efeito, demonstra-se favorável a realização do ensaio de detecção de armadura, conforme visto na Figura 3.27, que consiste em utilizar um equipamento gerador de campo magnético detetor de presença de metais, que permite observar no seu ecrã se há algum varão, qual o espaçamento e diâmetro dele , e espessura do betão de recobrimento.



Figura 3.27 – Ensaio de deteção da armadura. (HILTI, 2019)

3.2.3.2 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão *in situ* ($f_{ck, is}$) pode ser realizada através da extração de carotes cilíndricos, e seus rompimentos em máquina prensa. Para classificar a carote entre formato cilíndrico e cúbico, deve-se atentar a relação descrita na equação (3.1), sendo valores próximos de 2 classificados como cilíndricos, e próximos de 1 classificados como cúbicos.

$$L/D \tag{3.1}$$

onde:

L – é o comprimento da carote;

D – é o diâmetro da carote.

Conforme descrito na norma “NP EN 13791:2008 – Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos prefabricados” de acordo com o Comité Europeu de Normalização (2008), existem duas abordagens para a determinação da resistência à compressão do betão, visto na Figura 3.28., sendo o fator determinante o número de carotes da amostragem.

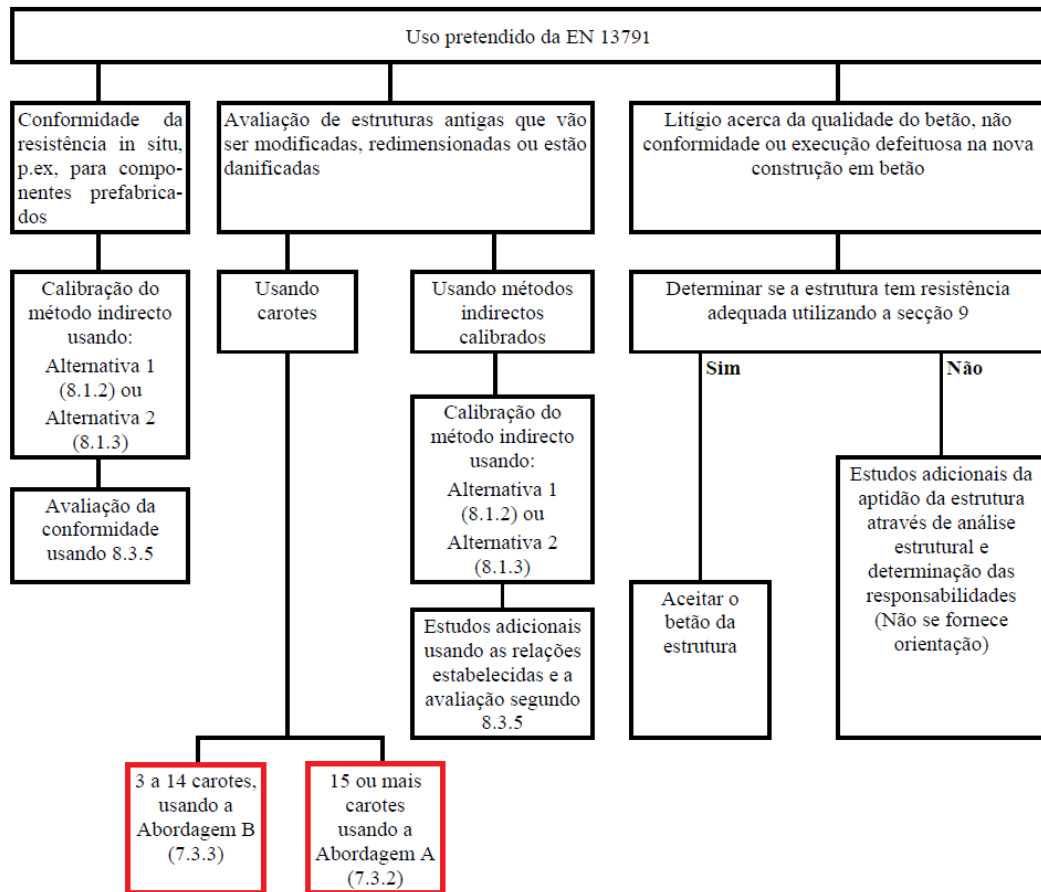


Figura 3.28 – Fluxograma para determinação da resistência à compressão. (Adaptado de Comité Europeu de Normalização, 2008)

Para a abordagem A, utiliza-se um número mínimo de quinze carotes, sendo o $f_{ck, is}$ é calculado por:

$$f_{ck, is} = \text{mínimo} (f_{m(n), is} - k_2 \cdot S; f_{is, menor} + 4) \quad (3.2)$$

onde:

$f_{ck, is}$ – é o valor da resistência à compressão *in situ* característico;

$f_{m(n), is}$ – é a média do resultado de n ensaios;

k_2 – é uma constante, igual á 1,48;

s – é o desvio padrão dos n ensaios, cujo mínimo é de 2 N/mm²;

$f_{is, menor}$ – é o valor do menor resultado dos n ensaios.

Na abordagem B, utiliza-se de três à quatorze carotes, sendo o $f_{ck, is}$ é calculado por:

$$f_{ck, is} = \text{mínimo} (f_{m(n), is} - k; f_{is, menor} + 4) \quad (3.3)$$

$$k = \begin{cases} 5, & \text{para } 10 \leq n \leq 14 \\ 6, & \text{para } 7 \leq n \leq 9 \\ 7, & \text{para } 3 \leq n \leq 6 \end{cases} \quad (3.4)$$

onde:

$f_{ck, is}$ – é o valor da resistência à compressão *in situ* característico;

$f_{m(n), is}$ – é a média do resultado de n ensaios;

k – é uma constante dependente do número n de cartores;

$f_{is, menor}$ – é o valor do menor resultado dos n ensaios.

Com o valor de $f_{ck, is}$ determinado, é possível determinar a classe de resistência do betão através da tabela ilustrada na Figura 3.29.

Classes de resistência à compressão da EN 206-1*	Relação entre a resistência <i>in situ</i> característica e a resistência característica de provetes normalizados	Mínima resistência <i>in situ</i> característica N/mm ²	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51
C55/67	0,85	47	57
C60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C100/115	0,85	85	98

NOTA 1: A resistência à compressão *in situ* pode ser inferior à que é medida sobre provetes normalizados extraídos do mesmo betão.

NOTA 2: A relação 0,85 está incluída no coeficiente γ_C da EN 1992-1-1:2004*.

Figura 3.29 – Mínima resistência à compressão *in situ* característica para por classe de betão. (Adaptado de Comité Europeu de Normalização, 2008)

3.2.3.3 Dureza superficial

A dureza superficial é uma propriedade mensurável da superfície do betão, que em condições normais, assemelha-se com a resistência à compressão: aumenta com a idade. Pode ser determinada através de

Capítulo 3

ensaios não destrutivos por métodos de medição da endentação, entretanto, estes foram abandonados, dando espaço aos métodos de medição do ressalto, utilizados mundialmente e normalizados. Utilizam o martelo de ressalto, ou também conhecido como esclerômetro de Schmidt, conforme Figura 3.30, baseando-se na medição do ressalto de uma massa elástica após sofrer o impacto contra a superfície da estrutura de betão.



Figura 3.30 – Ensaio do esclerômetro de Schmidt. (PROCEQ, 2019)

O ensaio mede diretamente o índice esclerométrico, o qual posteriormente pode ser utilizado para verificar de forma fiável e econômica a uniformidade da qualidade do betão, identificando zonas críticas para ensaios futuros mais detalhados, e também correlacionado com a resistência à compressão do betão através de ábacos. A estimativa da resistência do betão não é muito fiável, porém é útil como metodologia preliminar ou complementar de ensaios posteriores mais rigorosos.

A “NP EN 12502-2:2003 – Ensaio do betão nas estruturas Parte 2: Ensaio não destrutivo – Determinação do índice esclerométrico” enuncia os procedimentos do ensaio. O Comité Europeu de Normalização (2003) indica que as peças de betão a serem ensaiadas devem ter uma espessura mínima de 10 cm e estarem fixas à estrutura. Utiliza-se uma área de ensaio de 300 x 300 mm², devendo a superfície estar lisa, caso contrário, com uma pedra abrasiva deve-se desgastá-la até torná-la lisa. Além disso, qualquer água deve ser removida da mesma. São feitas leituras, assegurando-se que quaisquer dois pontos estejam distanciados de no mínimo 25 mm entre si, e 25 mm da margem limítrofe da área ensaiada. Para o cálculo do índice esclerométrico da amostragem, deve-se obter um mínimo de 9 leituras para cada área ensaiada. Assim, o resultado a ser tomado como valor final é a mediana de todas as leituras. Caso mais de 20% das leituras se diferirem em 6 unidades da mediana, o ensaio deve ser descartado. Com o índice esclerométrico determinando, é possível determinar de forma indireta a classe de resistência do betão através do ábaco apresentado na Figura 3.31, ficando a leitura do mesmo em função da posição do esclerômetro.

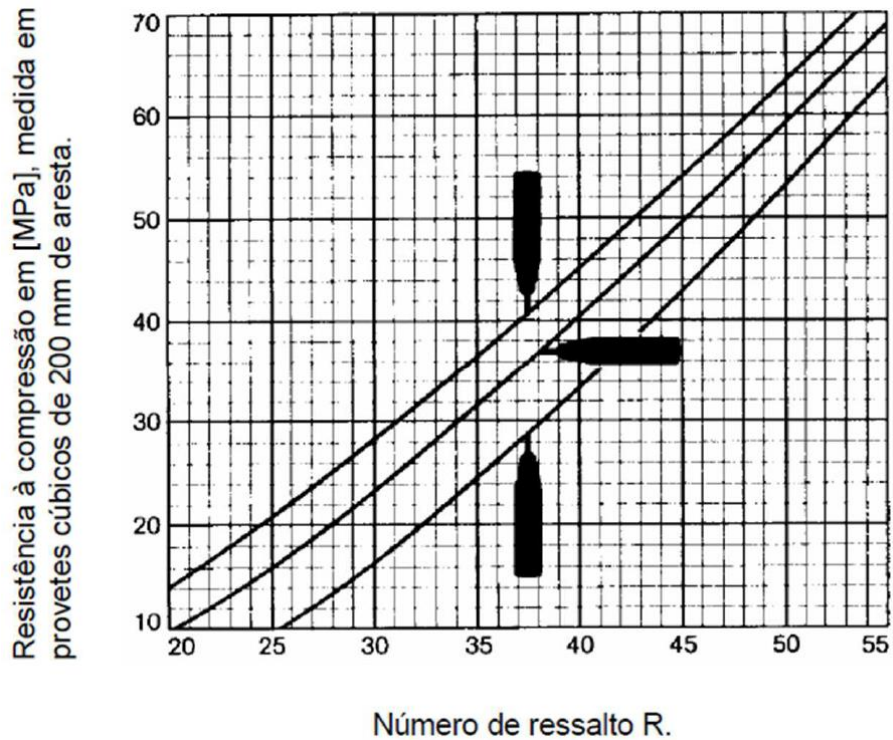


Figura 3.31 – Ábaco de classe de resistência do betão vs. índice esclerométrico. (Rodrigues, 2018c)

3.2.3.4 Resistência à penetração

Consiste na utilização da Pistola de Windsor (Figura 3.32), ativada à pólvora, que dispara uma sonda metálica de alta dureza contra a superfície do elemento estrutural de betão, baseando-se na relação direta entre resistência à compressão e profundidade de penetração da sonda. A profundidade de penetração é determinada como a diferença entre a dimensão total da sonda e a extensão da sonda não penetrada medida com paquímetro. Este ensaio quando comparado com o esclerômetro de Schmidt, apresenta resultado mais fiáveis e influenciado em menor escala pelos mesmos fatores. Demanda de áreas maiores para o ensaio, deixa marcas na superfície de ensaio, e apresenta maiores custos.

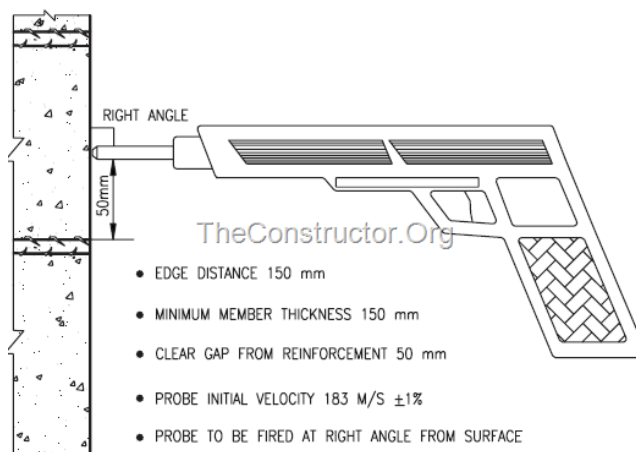


Figura 3.32 – Ensaio de resistência a penetração. (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018a)

3.2.3.5 Resistência ao Arranque

Os ensaios de arranque, também conhecidos como *pull-out*, são ensaios que determinam a resistência do betão através da força necessária para arrancar um disco metálico com determinadas dimensões inserido no betão à determinada profundidade. Pode ser montado no sistema *lok-test*, conforme Figura 3.33, que consiste na instalação da sonda durante a betonagem, ou no sistema *capo-test* (*cut and pull-out*), conforme Figura 3.34, montado a qualquer momento depois do betão endurecido, sendo necessário equipamento específico e mais trabalhoso de montar. Possui os mesmos fatores influenciadores que o ensaio do esclerômetro de Schmidt, porém pouco afetado por eles.



Figura 3.33 – *Lok-test*. (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018b)



Figura 3.34 – *Capo-test*. (The Constructor - The Civil Engineering Home, 2018b)

3.2.3.6 Resistência à tração

O ensaio de tração direta, ou também conhecido por *pull-off*, é utilizado para determinação da resistência à tração do betão, e de forma indireta a resistência à compressão. Consiste no arrancamento de um disco metálico colado à superfície do betão. Muito utilizado para determinação da resistência de aderência de ligações entre materiais, tais como, duas camadas de betão numa zona de reparação, argamassa e betão, betão e rocha. *In situ*, devem ser realizados seis ensaios para caracterizar uma região.

3.2.3.7 Ultrassom

São ensaios que objetivam medir a velocidade de propagação de ultrassons, através da determinação do tempo que uma onda de ultrassom demora a percorrer um elemento de betão com uma extensão definida. É possível avaliar de forma direta a homogeneidade da qualidade do betão, além de também relacionar a velocidade do som com as propriedades do betão: resistência à compressão e módulo de elasticidade.



Figura 3.35 – Ensaio de ultrassons no betão. (Caracas *et al.*, [s.d.]

A norma “NP EN 12504-2:2007 – Ensaio do betão nas estruturas Parte 4:Determinação da velocidade de propagação de ultra-sons” apresenta diretrizes do ensaio. De acordo com a Comité Europeu de Normalização (2007) são utilizados para este ensaio um gerador de impulsos elétrico com um par de transdutores (emissor e receptor) acoplados a ele. A norma permite que as medidas sejam feitas com transmissão direta (transdutores posicionados em faces opostas), indireta (transdutores na mesma face), e semidireta (transdutores em faces adjacentes).

3.2.3.8 Monitorização de fissuras

As fissuras podem ser classificadas em duas categorias: ativas e passivas. As primeiras apresentam variação na largura de sua abertura ao longo do tempo, enquanto as segundas não. Para monitorar essas fissuras recorre-se a um fissurômetro constituído por duas partes sobrepostas, feitas de acrílico flexível e com marcas para leitura de medidas. Na estrutura são fixadas em suas extremidades por elemento

autocolantes ou aparafusadas, e centralizadas na fissura, visto na Figura 3.36. Desta forma, quando a fenda está ativa as partes do fissurômetro movimentam-se, sendo possível medir a abertura das fissuras.



Figura 3.36 – Monitorização de fissuras com fissurômetro. (J. Roma Lda., 2019)

É possível também monitorar fissuras ativas através da utilização de testemunho de gesso, ou outro material que permita detetar eventuais acréscimos de abertura das fissuras, conforme observado na Figura 3.37. Neste processo, preenche-se a fissura com gesso, e caso a fissura seja ativa, o gesso apresentará fissura em sua superfície. Este procedimento de monitorização não pode ser aplicado a ambientes externos devido a reatividade do gesso com a humidade.



Figura 3.37 – Monitorização de fissuras com testemunho de gesso. (Silva e Torres, 2015)

3.2.3.9 Profundidade de carbonatação

A carbonatação é um processo que ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar penetra no betão e reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) formando assim o carbonato de cálcio (CaCO_3) e água (H_2O). Deste modo, durante o processo, o betão vai perdendo a sua alcalinidade. Em um betão homogéneo, a carbonatação avança com a frente paralela à superfície. Quando a frente de carbonatação supera a espessura da camada do betão de recobrimento das armaduras, estas perdem o efeito da película passivante e assim se dá início a corrosão das mesmas, o que por consequência, ocasiona danos quanto a durabilidade do betão.

A determinação da profundidade de carbonatação contribui para a verificação do efeito barreira que o betão confere às armaduras do elemento estrutural. O ensaio consiste em realizar furos na própria estrutura com posterior limpeza do mesmo, ou extrair carotes em zonas diferentes e com diferentes profundidades, aplicando uma solução de fenolftaleína a 0,1% no betão em estudo. Conforme visto na Figura 3.38, as zonas não carbonatadas apresentarão uma coloração rosa e as zonas carbonatadas permanecerão da cor do betão, uma vez que a solução de fenolftaleína é incolor. Com isso, é possível medir a profundidade do betão carbonatado.



Figura 3.38 – Ensaio de determinação da profundidade de carbonatação do betão. (Spybuilding - Inspeção de Edifícios, 2018)

3.2.3.10 Teor de cloretos

Este ensaio tem como objetivo determinar a presença de iões de cloreto no betão, pois este, quando presente atua como catalisador e potencializa a corrosão da armadura. Os cloretos podem estar presentes no momento da amassadura ou ainda penetrar pelo exterior.

O ensaio, observado na Figura 3.39, é realizado a partir da recolha de amostras por perfuração do betão a quatro diferentes profundidades, usualmente: 10 mm, 20 mm, 30 mm e 40 mm, recolhendo-se cerca de 20 g de pó por profundidade. Em seguida, 3 g de pó de cada amostra é misturado com 20 ml de uma solução ácida normalizada que reage com a presença de cloretos. Por fim, utiliza-se um aparelho de medição do teor de cloretos que contém um eléctrodo com sensor de temperatura que é introduzido na solução, medindo assim a reação eletroquímica. O aparelho converte a tensão obtida a partir dessa reação eletroquímica em concentração de iões cloreto, valor é expresso em percentagem.



Figura 3.39 – Ensaio de determinação do teor de cloretos. (Adaptado de Rodrigues, 2018c)

3.2.3.11 Resistividade elétrica

A resistência elétrica de um material é expressa pela sua resistividade elétrica. A medição desta, através de uma sonda, permite avaliar se o betão está uniforme detetando vazios derivados da má compactação e avaliar o risco de corrosão das armaduras. Como resultado, se o valor da resistividade elétrica for baixo, observa-se uma maior probabilidade de ter penetração de cloretos e como consequência uma taxa de corrosão de armaduras mais elevada. É de se ter em conta que a proximidade da armadura, a humidade, temperatura e carbonatação podem influenciar os resultados do ensaio.

O ensaio é realizado através do método de Wenner, e consiste em previamente proceder a deteção de armaduras, seguido de uma pré-molhagem da superfície durante aproximadamente 40 minutos. A próxima etapa é colocar uma sonda com quatro eléctodos equidistantes, em que é aplicada uma corrente elétrica alternada entre os dois eléctodos mais externos e medida a diferença de potencial entre os dois eléctodos internos, visto na Figura 3.40. Com os resultados obtidos na sonda, determina-se o valor da resistividade elétrica.

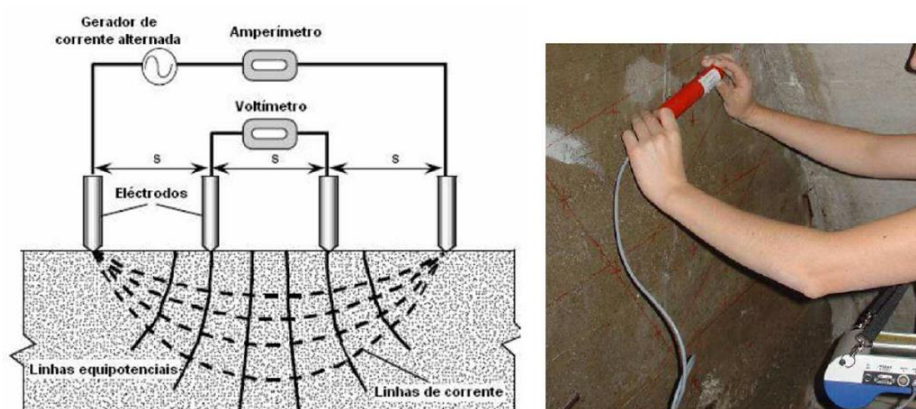


Figura 3.40 – Ensaio para determinação da resistividade elétrica. (Rodrigues, 2018c)

3.2.3.12 Potencial eléctrico

É um dos métodos eletroquímicos mais utilizados para monitorar e avaliar o comportamento de estruturas de betão armado no que diz respeito a corrosão da armadura. O potencial eléctrico é a forma de medir, em circuito aberto, a maior ou menor facilidade de transferência de carga eléctrica entre o aço da armadura relativo a um eléctrodo de referência, geralmente cobre (Cu) ou sulfato de cobre (CuSO)₄, conforme visto na Figura 3.41. Assim como o ensaio de determinação da resistividade eléctrica, é necessária uma pré-molhagem durante aproximadamente 40 minutos.

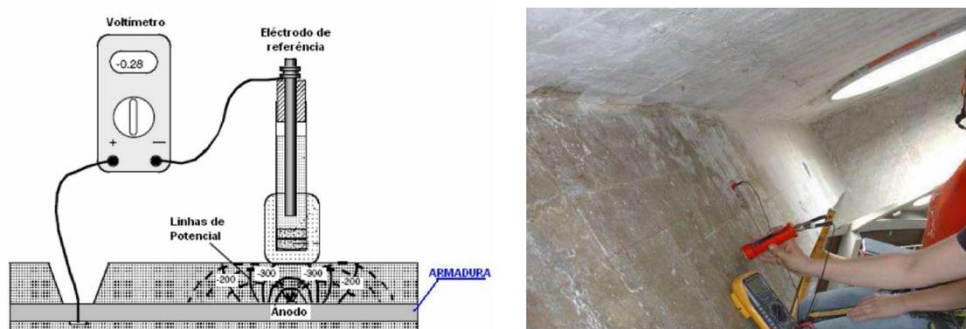


Figura 3.41 – Ensaio de medição do potencial eléctrico. (Rodrigues, 2018)

3.2.4 Avaliação do estado de conservação

A avaliação do estado de conservação do elemento estrutural leva em consideração todas as anomalias presentes nele, sendo distribuída uma pontuação de 0 (favorável) ou 1 (desfavorável) aos critérios: natureza (N), estado de desenvolvimento (D), extensão atual da anomalia (E), função do componente afetado (F), e consequência das anomalias para outros elementos (C). O significado de cada nota para cada critérios está descrito na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Notas dos critérios para avaliação do estado de conservação. (Adaptado de Rodrigues, 2018c)

CRITÉRIO \ NOTA	0	1
Natureza	Pouco grave	Muito grave
Desenvolvimento	Sem evolução	Com evolução
Extensão	Pontual	Generalizada
Função	Cumpre	Não Cumpre
Consequência	Sem consequência	Com consequência

O resultado do Estado de Conservação é a somatória da pontuação atribuída a cada critério de avaliação, variando de 0 até 5, sendo:

Capítulo 3

- a) EC0 – Estado ótimo: qualidade do material e execução perfeita;
- b) EC1 – Estado de conservação bom: pequenos defeitos sem importância na durabilidade da obra, não justificando necessidade de reparação;
- c) EC2 – Estado de conservação razoável: reparação não prioritária. Intervenções a curto e médio prazo;
- d) EC3 – Estado de conservação mau: reparação no nível de durabilidade dos componentes. Intervenções a médio prazo;
- e) EC4 – Estado de conservação mau a muito mau: reparação prioritária no nível de durabilidade dos componentes. Intervenções a curto prazo;
- f) EC5 – Estado de conservação extremamente mau: reparação imediata.

Quando o estado de conservação não exigir reparação imediata, mas alguma anomalia necessitar de correção emergencial podendo ocasionar graves consequências ao desempenho da estrutura, é sinalizada a necessidade de sua correção a partir do alerta.

CAPÍTULO 4

VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Existem muitos termos utilizados para descrever este tipo de equipamento. Um relatório desenvolvido pela Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, e Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (Pecharromán e Veiga, 2017) encontrou quatro formas diferentes de nomear:

- a) A primeira delas, drone, foi originada nos EUA, é um termo bastante genérico, utilizado em larga escala em diversos lugares do mundo para caracterizar qualquer objeto voador não tripulado utilizado para qualquer finalidade. Este termo é muito associado a equipamentos utilizados para fins recreativos.
- b) A segunda deles é o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), termo utilizado pelos órgãos reguladores do Brasil para descrever esta plataforma. Segundo legislação relacionada, o VANT é qualquer aeronave operada sem piloto a bordo, porém sem utilização para fins recreativos e deve possuir carga útil acoplada. Nem todo drone é um VANT, uma vez que para fins de lazer é definido por aeromodelo.
- c) As duas últimas formas de descrever estes equipamentos são consideradas subclassificações de VANT. No caso de a aeronave ser controlada remotamente através de uma interface exterior, este pode ser chamada de *remotely piloted aircraft* (RPA), termo que em português significa aeronave remotamente pilotada. Caso o VANT voe de forma totalmente independente sem intervenção externa, este pode ser chamado por “Aeronave Autônoma”.

No mesmo estudo realizado pela Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, e Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (Pecharromán e Veiga, 2017), a primeira utilização de VANT ocorreu em 22 de agosto de 1849 quando o exército austríaco enviou balões carregados de explosivos para atacar a cidade de Veneza, na Itália. Somente na Segunda Guerra Mundial, as bombas voadoras alemãs do tipo V-1, popularmente chamada de *buzz bomb*, apelido dado devido ao barulho que a mesma fazia enquanto voava, são caracterizadas como VANT de sucesso na época.

Capítulo 4

Segundo o Instituto de Tecnologia Aeronáutica Remotamente Controlada (ITARC) (2018), o modelo de VANT no qual se possui conhecimento atualmente foi desenvolvido pelo engenheiro espacial israelita Abraham Karen, em 1977 quando chegou nos EUA. O primeiro modelo se chamava Aquila, e necessitava ser manuseado por 30 pessoas, com duração de 20 horas de voo. Diante da necessidade de melhorias e evoluções, Abraham fundou a empresa Leading System em sua própria garagem, na qual com materiais simplórios em tecnologia, utilizou de fibra de vidro caseira e restos de madeira para a criação Albatross, modelo de asas fixas, capaz de permanecer no ar durante 56 horas.

Com os resultados obtidos com sua última criação, Abraham recebeu financiamento da Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) para aprimorar mais ainda suas pesquisas, resultando no modelo Amber (Figura 4.1), que por sua vez culminou no modelo moderno denominado Predator. Todas as suas aeronaves foram desenvolvidas para fins militares.



Figura 4.1 – VANT Amber. (DARPA, 2019)

Segundo artigo de Paula (2009), no Brasil, a vinda de VANT foi marcada no início da década de 80 pelo BQM1BR (Figura 4.2), o primeiro VANT registrada no país fabricada pela Companhia Brasileira de Tratores (CBT). Possuía 3,89 m de comprimento, fuste de 28 cm de diâmetro e 3,38 m de envergadura, feito de estrutura metálica, com um peso de 92,5 kg, sendo necessário decolar através de catapulta ou com a contribuição de um foguete auxiliar. Sua velocidade máxima era de 530 km/h e possuía autonomia de 45 minutos de voo.



Figura 4.2 – VANT BQM1BR.(Paula, 2009)

4.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA USO

O uso de drones em território brasileiro é regulamentado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e Ministério da Defesa.

A primeira medida a ser feita é a homologação dos equipamentos junto à ANATEL, sejam eles para aeromodelismo ou para uso recreativo, uma vez que possuem transmissores de radiofrequência em seus controles remotos ou até mesmo no próprio corpo da aeronave. De acordo com a ANATEL (2016) “A medida da Agência tem como objetivo evitar interferências dos drones em outros serviços, a exemplo das comunicações via satélite. [...]. No processo de homologação são verificadas as características técnicas de transmissão dos equipamentos.”. É necessário fazer um cadastro no Sistema de Gestão de Certificação e Homologação, preenchendo o requerimento de homologação que necessitará de informações como a carteira de identidade, cadastro de pessoa física (CPF) ou cadastro nacional de pessoa jurídica (CNPJ), manual do produto e o certificado da Federal Communications Commission (FCC). Será necessário o pagamento de uma taxa, para então dar continuidade ao processo que será analisado por pessoa específica da ANATEL.

As orientações por parte da Agência Nacional de Aviação Civil podem ser encontradas no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBRAC-E) nº 94, publicado em 2017 e intitulado por “Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil”. Ele divide os VANT em duas categorias: aeromodelos no caso de equipamentos para uso recreativo e lazer, e RPA quando para fins comerciais, experimentais e institucionais. A categoria RPA ainda é subdividida em 3 classes, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (2017a):

- a) Classe 1: peso máximo de decolagem superior a 150 kg;
- b) Classe 2: peso máximo de decolagem superior a 25 kg e inferior ou igual a 150 kg;
- c) Classe 3: peso máximo de decolagem máximo de 25 kg.

De maneira geral, os dois tipos (aeromodelos e RPA) só podem ser operados em áreas com no mínimo 30 metros horizontais de distância das pessoas e cada piloto remoto não pode operar mais de uma RPA por vez. Para equipamentos com peso máximo de decolagem, incluindo peso próprio, não superior à 250 g, estes não necessitam de autorização da Agência Nacional de Aviação Civil para voo, apenas devem ser respeitadas as orientações da mesma. Apenas para aeromodelos, quando possuírem peso de decolagem superior à 250 g, e RPA classe 3 em operação *visual line of sight* (VLOS) até 400 pés de altura acima do nível da superfície, estes devem ser registrados na no Sistema de aeronaves não tripuladas (SISANT) da Agência Nacional de Aviação Civil, não necessitando de certificados de aeronavegabilidade. Para RPA classe 3, em operação VLOS acima de 400 pés, RPA classe 1 e classe 2, é necessário a emissão de um

certificado de aeronavegabilidade, podendo este ser de acordo com Agência Nacional de Aviação Civil (2017a):

- a) Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE): emitido para pesquisa e desenvolvimento, treinamentos de piloto, e pesquisa de mercado;
- b) Autorização Especial de Voo (AEV): traslado de aeronave para bases de reparos, manutenções ou armazenamento das mesmas, entrega da aeronave ao seu comprador final, ensaios em voo de produção e treinamento dos pilotos do fabricante, evacuação de áreas perigosas, e voos para demonstração aos clientes;
- c) Certificado de Aeronavegabilidade Especial para RPA (CAER): destinado para RPA classe 3, em operação VLOS acima de 400 pés da superfície;
- d) Certificado de Aeronavegabilidade padrão: destinado RPA classe1, podendo ser substituído por um CAVE ou AEV.
- e) Certificado de Aeronavegabilidade categoria restrita: destinado RPA classe1, podendo ser substituído por um CAVE ou AEV.

O resumo da orientação para homologação junto à ANAC é visto na .

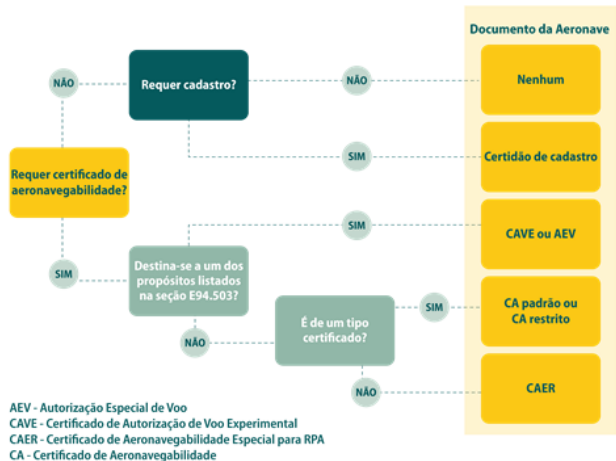
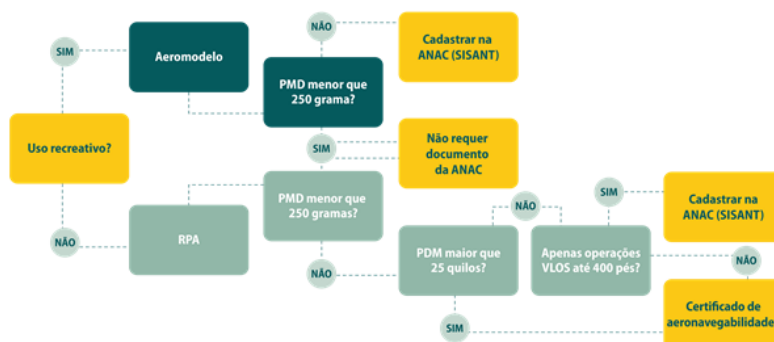


Figura 4.3 – Fluxograma emissão de certificados.(Agência Nacional de Aviação Civil, 2017b)

Por parte do DECEA, o regulamento que orienta o manuseio de RPA é o ICA-100-40, intitulado por “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. O DECEA é o órgão que planeja, gerencia e regula as atividades do espaço aéreo. Ele divide o espaço aéreo brasileiro conforme Figura 4.4, e direciona cada região para seus órgãos regionais Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA) I, II, III, IV e Serviço Regional de Proteção ao voo de São Paulo (SRPV-SP). Cabem a estes órgãos solicitação de autorização de voo.

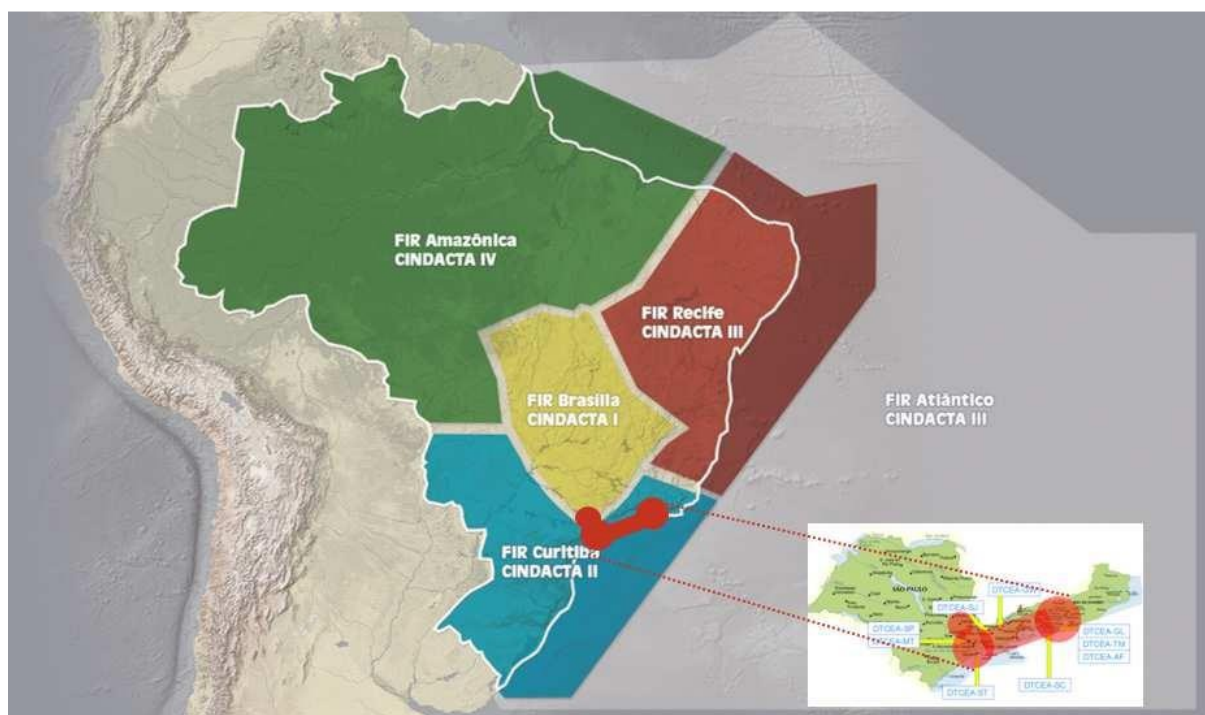


Figura 4.4 – Divisão do espaço aéreo brasileiro e seus órgãos regionais.(Ministério da Defesa, 2018)

Para o registo de imagens realizado através do uso VANT em atividades de inspeções de estruturas, como por exemplo, fachadas de edifícios, pontes, torres, linhas de transmissão de energia elétrica, etc., de acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil, este tipo de atividade é caracterizada por aeroinspeção, não sendo necessária a solicitação de autorizações para este tipo de atividade junto ao mesmo, sendo necessário junto ao Ministério da Defesa, apenas para atividades com caráter de aerolevanteamento, ou seja, “[...] conjunto de operações que visam obter informações da superfície terrestre, aérea ou marítima pertencentes território nacional [...]” (Ministério da Defesa, 2019).

4.2 LEGISLAÇÃO PORTUGUESA PARA USO

O uso de VANT em território português é regulamentado pela Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC) através da regulamentação “Voa na Boa”. Deve-se inicialmente entender qual o tipo de equipamento que está se usando. A Autoridade Nacional da Aviação Civil (2016) define como aeronave brinquedo como aquela que não equipada com motor a combustão e com peso máximo operacional de 0,250 kg para

Capítulo 4

utilização de lazer de crianças com idade inferior a 14 anos, e aeromodelo como uma aeronave pilotada remotamente que não seja aplicada nos critérios que definem aeronave brinquedo, com massa operacional máxima de 25 kg utilizada exclusivamente para exibição, competição ou atividades recreativas.

Como regras gerais, operações com RPA não necessitam de autorização de voo desde que seja um voo diurno, de operação VLOS, até 120 m acima da superfície, com exceção de aeronaves brinquedo que só podem voar com altitude máxima de 30 m. Caso os voos de aeromodelos sejam efetuados em locais ou pistas com áreas cujas características e limites laterais e verticais estejam presentes em publicações de informação aeronáutica nacionais, podem voar a altura máxima permitida pela área ainda que a mesma supere 120 m. Há alguns locais com proximidade a aeródromos ou zonas controladas que estão sujeitas a regras específicas. Para isso, deve-se verificar o anexo do regulamento para saber quais regras seguir.

O plano de voo deve ser feito de forma a minimizar os riscos a pessoas, bens e outras aeronaves, mantendo uma distância segura dos mesmos a fim de evitar acidentes. O piloto remoto deve dar prioridade para as aeronaves tripuladas, afastando-se das mesmas, sempre que em caso excepcional as aeronaves tripuladas estejam voando a mesma altura que a RPA. Nas operações VLOS, não podem ser pilotadas mais de uma aeronave concomitantemente.

Antes da operação com o equipamento, o piloto remoto deve garantir que a aeronave e seus sistemas estejam a funcionar corretamente para que seja possível usufruí-los em condições normais. A RPA deve voar sempre com luzes de identificação ligadas, independentemente de ser uma operação diurna ou noturna. Os pilotos e observadores da RPA não podem exercer suas funções quando se encontrarem incapazes por sua aptidão física ou mental.

Carecem de autorização de voo da Autoridade Nacional da Aviação Civil voos noturnos, de operação *beyond visual line of sight* (BVLOS), e voo de altitude superior a 120 m da superfície. Estas condições podem sofrer exceções quando a RPA possua uma massa operacional máxima de 1 kg, opere com altitude máxima de 16 pés, esteja munido de equipamento *first person view* (FPV), como câmeras, ocorrência do voo numa área circular de raio de 100 m com centro no piloto remoto, e a operação deve estar afastada de pessoas e bens, de forma a evitar o risco de colisões. Voo de aeromodelos com massa operacional superior a 25 kg necessitam de autorizações para voo.

O regulamento ainda traz em seu Anexo as Zonas de Controle (CTR) de acordo com os principais aeródromos do país que possuem regras específica. Nele, são abordados os aeródromos da cidade de Lisboa, Porto, Cascais, Faro, e da região dos arquipélagos portugueses. Como neste trabalho é abordada a região de Vila Nova de Gaia, esta está associada ao CTR da cidade do Porto, sendo suas áreas de restrições indicadas na Figura 4.5.

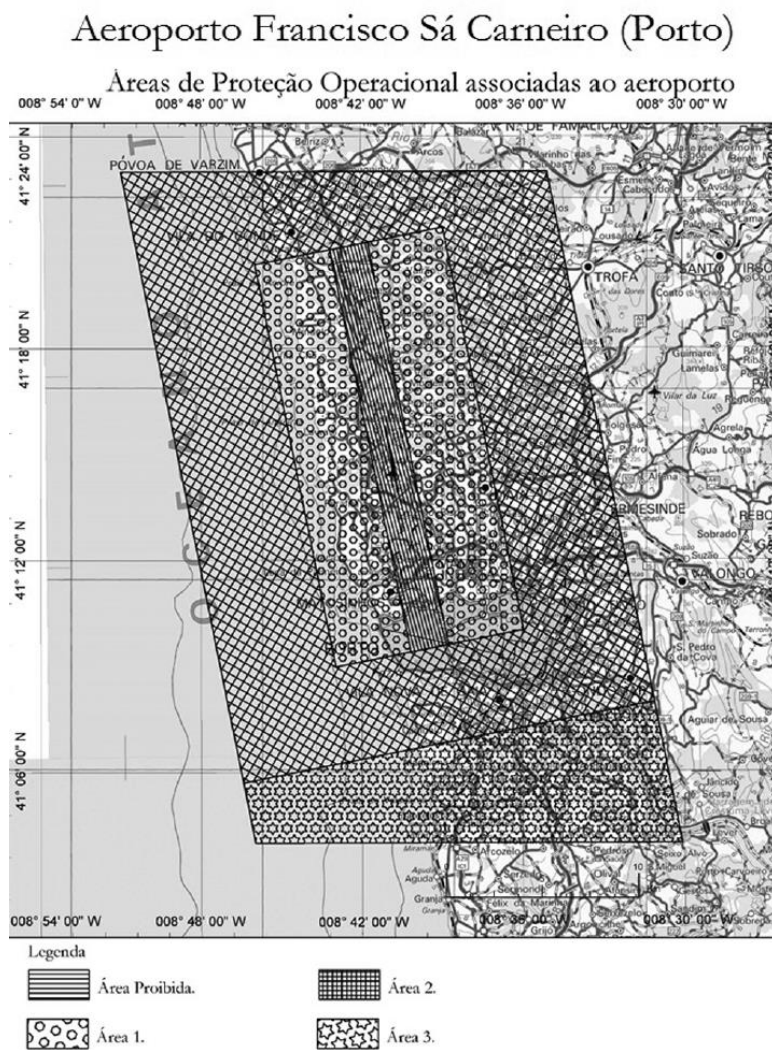


Figura 4.5 – Áreas associadas a CTR do Porto. (Autoridade Nacional de Aviação Civil, 2016)

Analisando a posição da Torre do Monte da Virgem na Figura 4.6, conclui-se que a estrutura está localizada na Área 3 da CTR do Porto. A regras de utilização de RPA nesta região são que não necessitam de autorização pra voo desde que a altura da operação seja no máximo 80 m da superfície ou até a altura máxima do obstáculo natural ou artificial existente em um raio de 75 m centrado na aeronave. Como a a torre é considerada um obstáculo artificial com altura de 177 m, a altura máxima da operação é coincidente com a altura da torre.

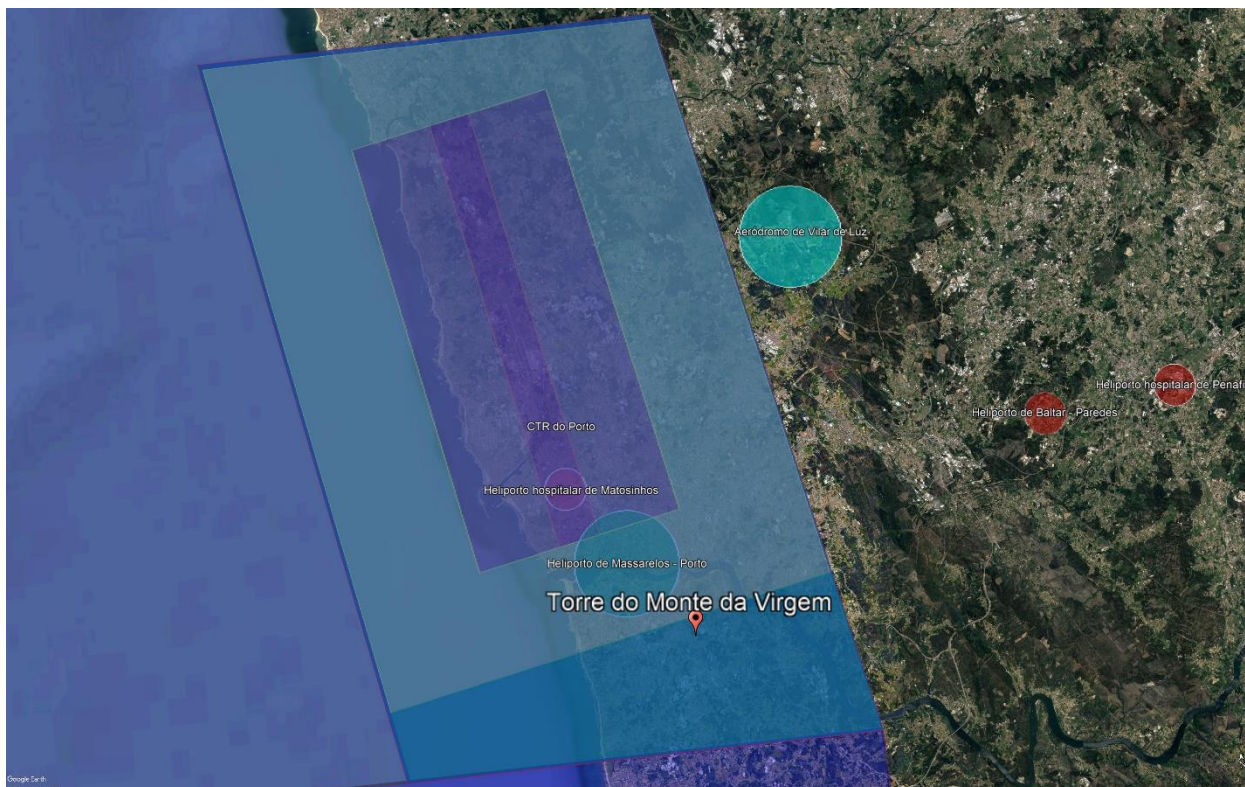


Figura 4.6 – Localização da Torre do Monte da Virgem na CTR do Porto. (Acervo do Autor)

Para operações que com o intuito de registar imagens ou vídeos para efeitos de levantamentos aéreos, faz-se necessário sempre a solicitação de autorização para os registos por parte da Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN). Entretanto, durante o desenvolvimento deste trabalho, a plataforma de registo para solicitação de autorização não estava pronta, e portanto, não foi realizada nenhuma requisição de autorização. Para a inspeção da Torre do Monte da Virgem foi autorizada pela Altice, atual empresa gestora da torre, a utilizá-la como alvo de estudo e realizar registos necessários da mesma.

CAPÍTULO 5

PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

O processamento de imagens digitais é uma ferramenta de grande valia para automatização durante a análise das imagens obtidas em uma inspeção visual. Este procedimento consiste na utilização de *softwares* que sejam capazes de trabalhar com imagens como dados de entrada, e realizar correções e melhorias nas imagens digitais, através da aplicação de filtros e transformações morfológicas. Hoje, com o desenvolvimento da computação, é possível ir além, utilizando imagens para a construção de objetos virtuais 3D

5.1 PIX4DMAPPER

O PIX4Dmapper é um *software* desenvolvido pela empresa suíça PIX4D (2019b), utilizado comumente na execução de algoritmos de visão computacional, sendo esta a área científica responsável pela máxima aquisição e utilização de informações advindas de imagens e vídeos. Com isso, o programa é capaz de construir mapas e modelos 3D através da aquisição de imagens e vídeos georreferenciados feitos com um VANT, e posteriormente extrair informações destes elementos, tais como medições.

O *software* PIX4Dmapper é um programa bastante intuitivo de se utilizar. A interface inicial do programa é ilustrada na Figura 5.1. Para iniciar um projeto, o primeiro passo é clicar no comando “*New Project*”.

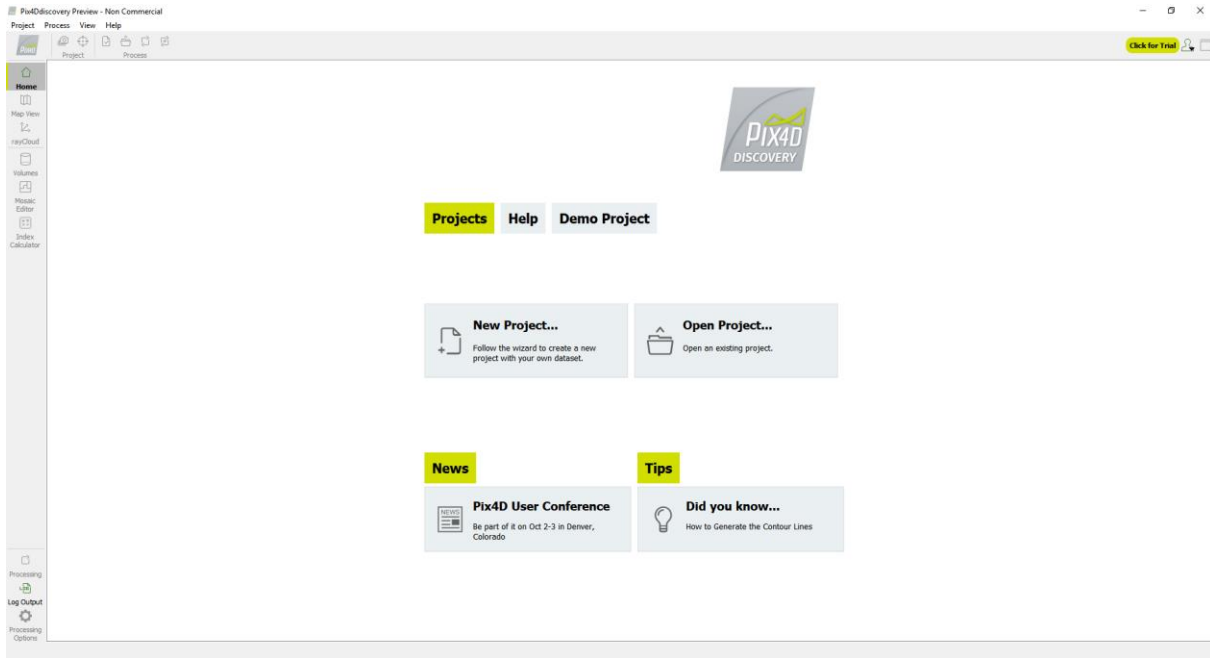


Figura 5.1 – Interface inicial do PIX4Dmapper. (Acervo do autor)

A criação do projeto será iniciada com a descrição do mesmo através da nomeação e local para salvar o projeto no computador, visto na Figura 5.2. Caso seja um projeto, o tipo de projeto utilizado é “*New Project*”, e caso queira acrescentar algo em um projeto existente, utiliza-se o tipo “*Project Merged from Existing Project*”.

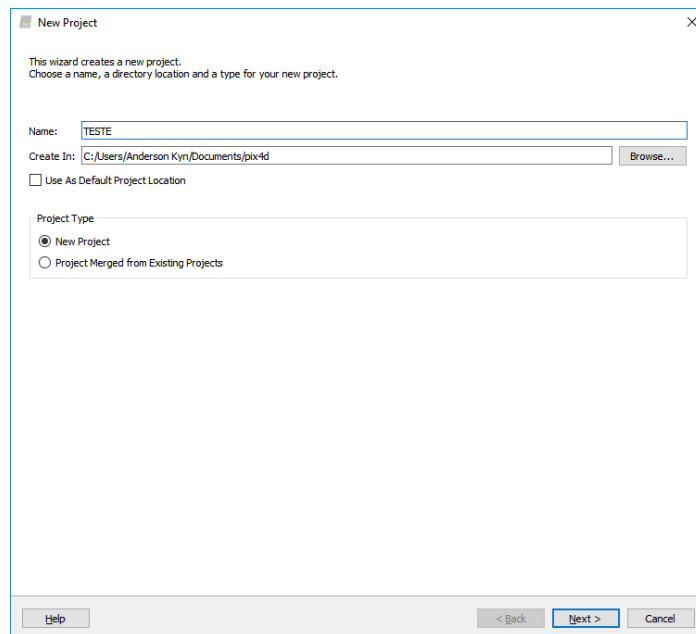


Figura 5.2 – Comando “*New Project*”. (Acervo do autor)

A próxima etapa é a seleção de imagens ou vídeos utilizados no projeto, conforme visto na Figura 5.3. No caso da utilização de vídeos, o programa é capaz de extrair frames do vídeo, sendo a quantidade determinada pelo usuário.

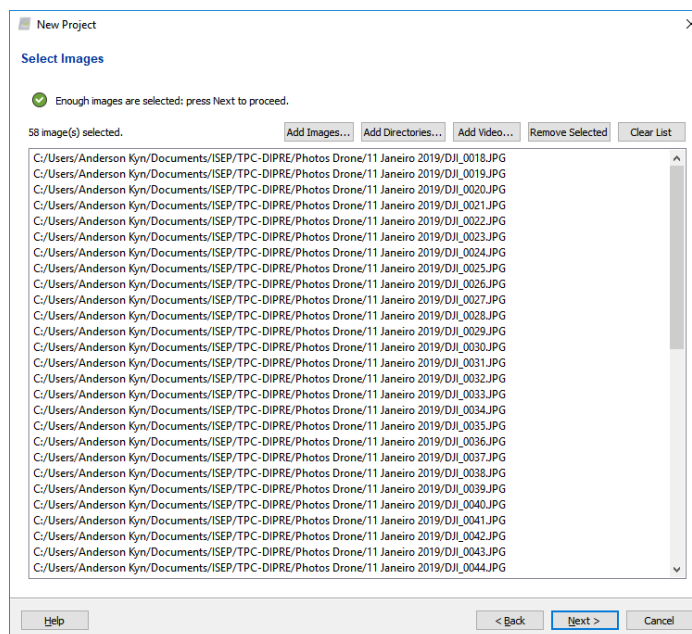


Figura 5.3 – Comando “*Select Images*”. (Acervo do autor)

Em seguida, após a seleção das imagens, são determinadas as propriedades dos *inputs* do projeto no comando “*Image Properties*”, conforme visto na Figura 5.4. No caso da utilização de equipamentos que sejam capazes de criar arquivos *Exchangeable Image File Format* (EXIF) nos registos das imagens, o que geralmente ocorre, as informações são preenchidas automaticamente.

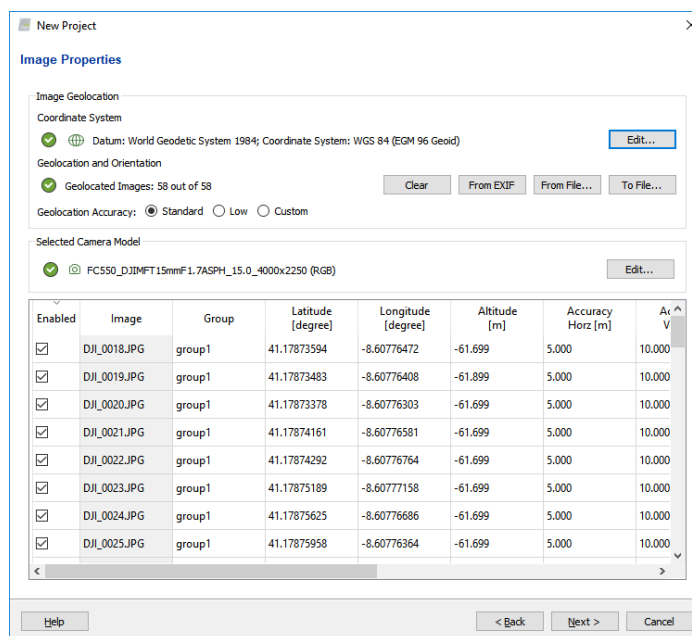


Figura 5.4 – Comando “*Image Properties*”. (Acervo do autor)

Capítulo 5

A última configuração dos *inputs* é o “*Select Output Coordinate System*”, ilustrado na Figura 5.5. Como as imagens possuem EXIF, ao selecionar a opção “*Auto Detected*”, o sistema de coordenadas para georreferenciamento do objeto a ser construído é auto detetado.

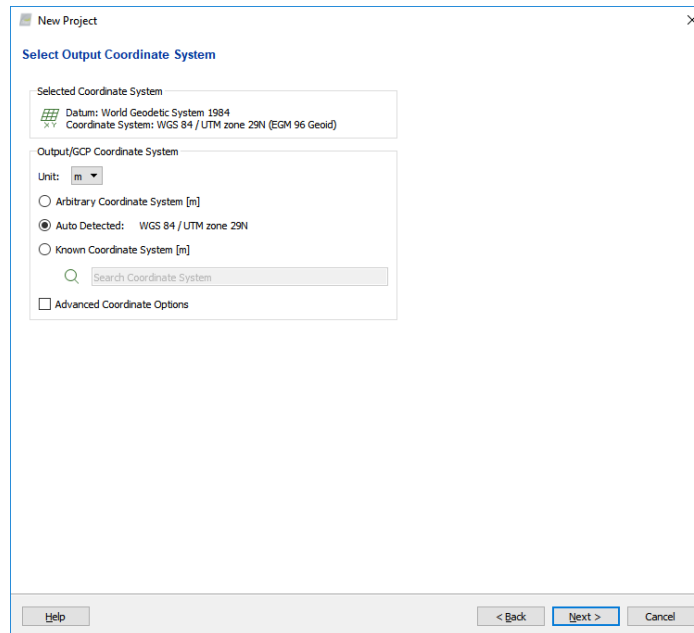


Figura 5.5 – Comando “*Select Output Coordinate System*”. (Acervo do autor)

A última etapa de criação do projeto é a seleção do tipo de elemento a ser criado através do comando “*Processing Options Template*”, visto na figura Figura 5.6. Como *output*, pode-se utilizar o padrão, no qual o tempo de processamento das imagens é maior, porém com melhor resolução. Entretanto, há a opção rápida com resolução mais baixa. Marca-se a opção “*Start Processing Now*” para finalizar a criação do projeto e iniciar o processamento das imagens.

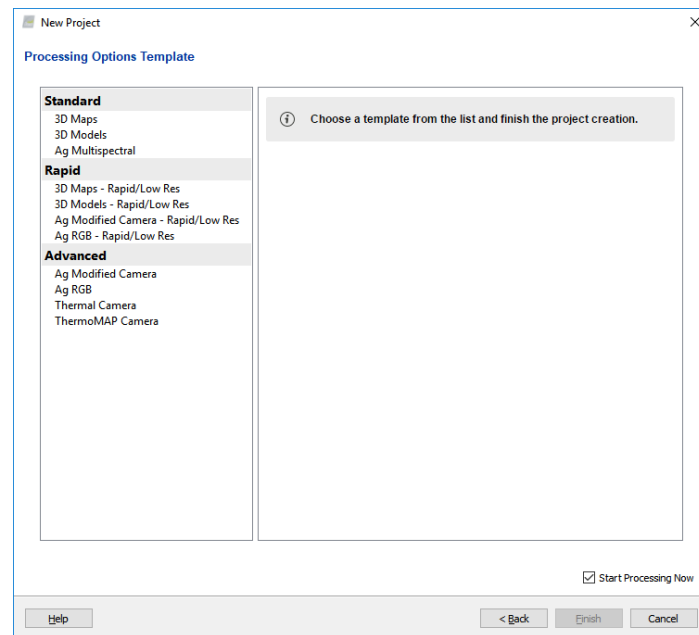


Figura 5.6 – Comando “*Processing Options Template*”. (Acervo do autor)

O resultado da criação do projeto é o modelo de nuvem de pontos, conforme visto na Figura 5.7. Entretanto, muitas vezes, as imagens capturam não só o objeto que se quer modelar, mas também objetos de vizinhos ou de fundo, como por exemplo árvores, o céu, edificações vizinhas, entre outros, que também são gerados nas nuvens de pontos.

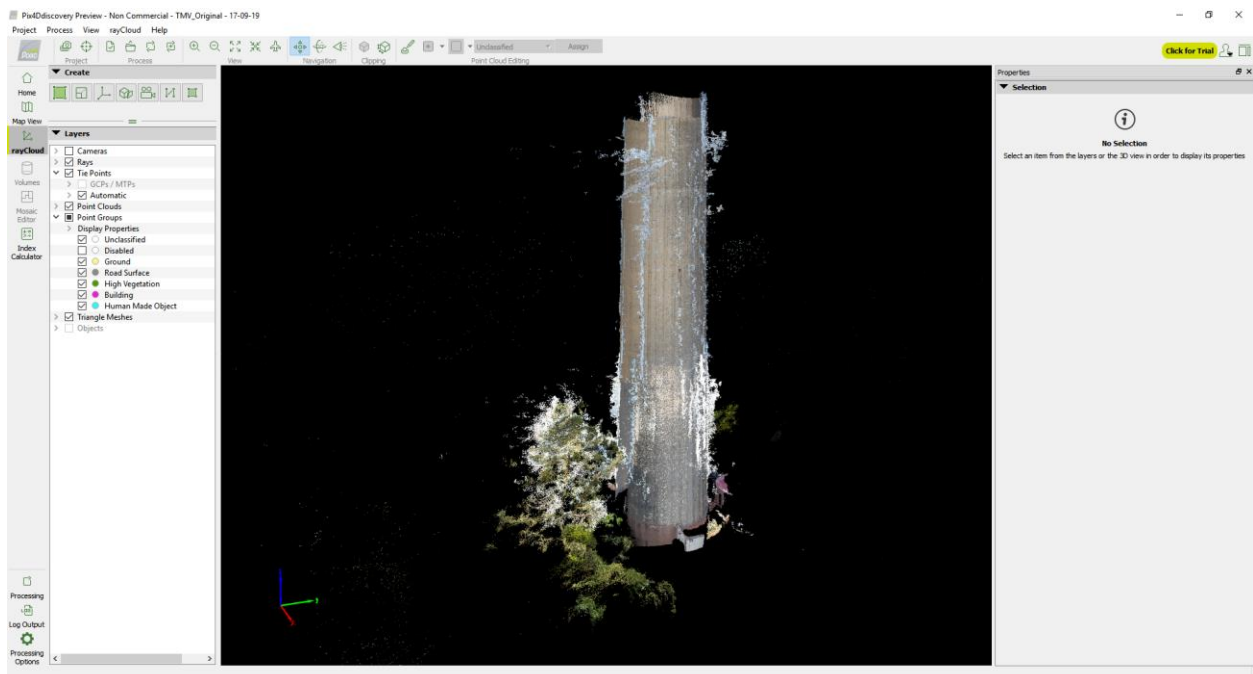


Figura 5.7 – Modelo 3D de nuvem de pontos. (Acervo do autor)

No PIX4Dmapper é possível limpar esse pontos a mais, através de ajustes nos “*Layers*”, localizado na barra de comandos à esquerda do “*Raycloud*”. Nela, a opção “*Automatic*” do item “*Tie Points*” deve ser

Capítulo 5

desmarcada, assim como a opção “*Densified Point Cloud*” do item “*Point Clouds*”, ocultando todos os pontos gerados por objetos vizinhos e de fundo das imagens. O resultado da limpeza é observado na Figura 5.8. Como resultado final, é obtido um modelo 3D, colorido e texturizado.

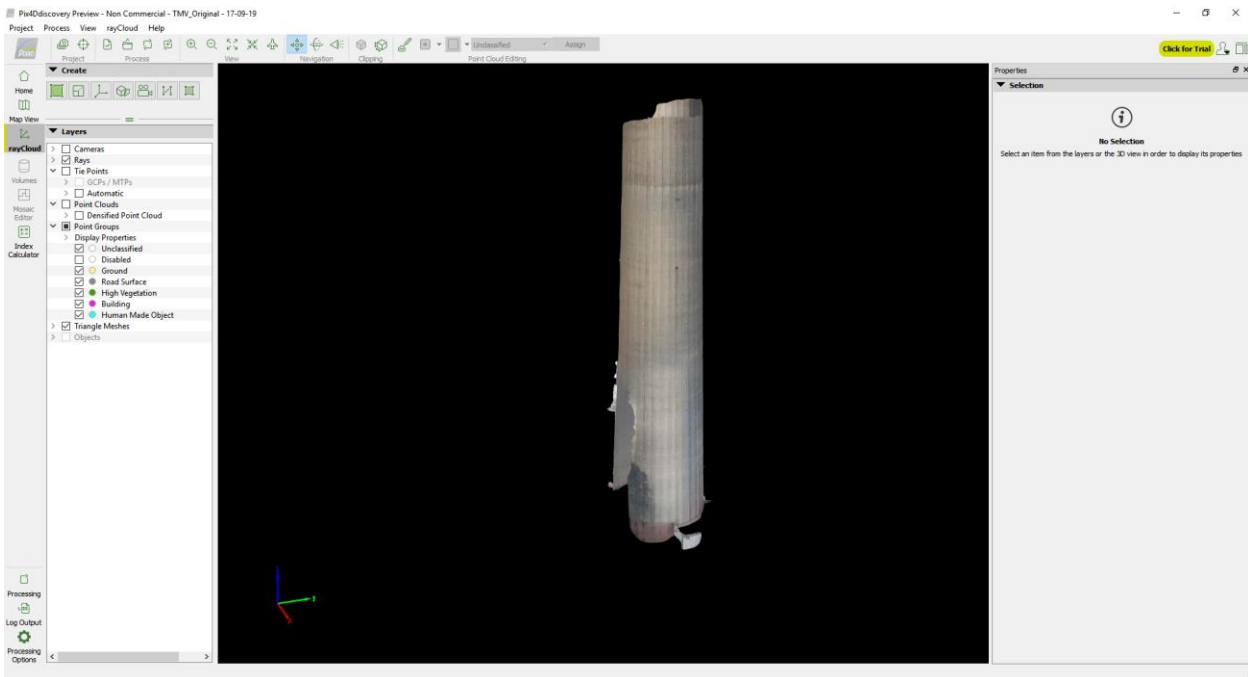


Figura 5.8 – Resultado após limpeza da nuvem de pontos do modelo. (Acervo do autor)

5.2 MATLAB

O MATLAB é a sigla para Matrix Laboratory, sendo um *software* desenvolvido pela companhia estadunidense MathWorks, Inc (2019), utilizado para o cálculo numérico através de matrizes. É um programa intuitivo, que possui módulos denominados “*toolbox*”, capazes de realizar diversas atividades. Para este trabalho, foi utilizado o *toolbox* referente ao “*Image processing and computer vision*”, que possui algoritmos pré-definidos pelo fabricante para a realização de processamento de imagens digitais.

A Figura 5.9 ilustra a interface inicial do MATLAB. Ela é constituída pela janela de comando “*Command Window*”, janela de histórico de comandos “*Command History*” que registra os comandos utilizados na “*Command Window*”. Além deles, há o “*Workspace*”, destinado ao registo de variáveis e dados obtidos no programa.

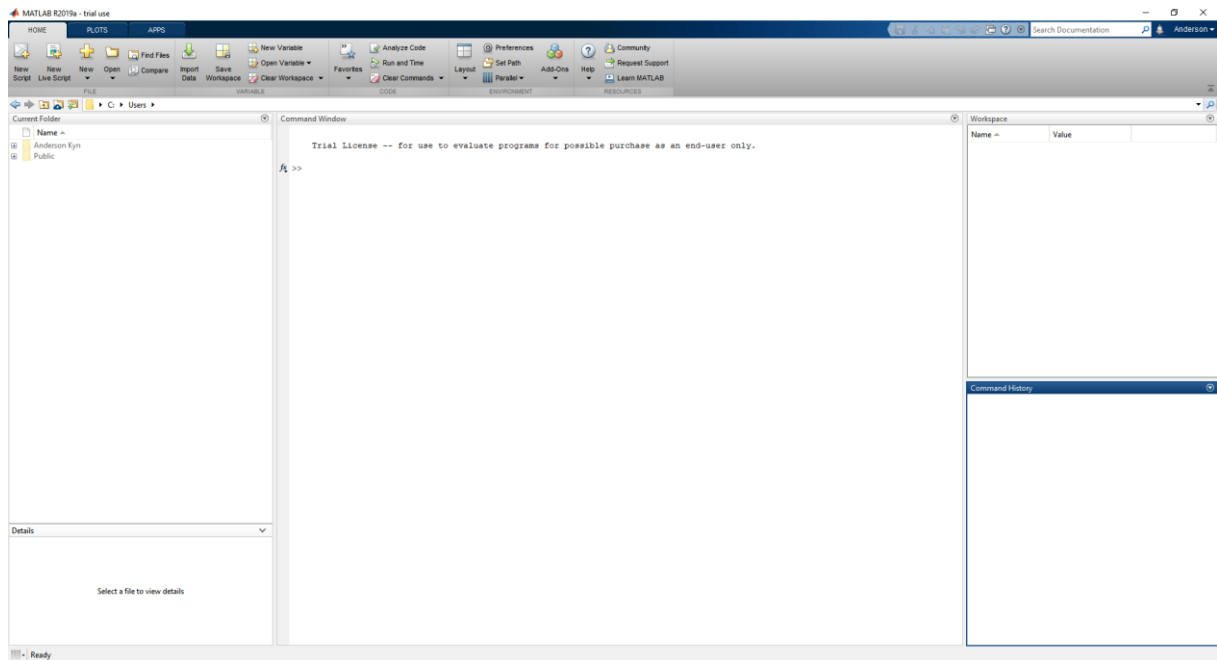


Figura 5.9 – Interface inicial do MATLAB. (Acervo do autor)

No âmbito de inspeções de estruturas, o MATLAB pode ser utilizado para processar imagens objetivando a identificação e caracterização de anomalias presentes na mesma. Adiante, será explicado os algoritmos de autoria própria e utilizados para a detecção de quatro anomalias: líquens, fissuras, eflorescências e armadura exposta corroída.

5.2.1 Detecção de líquens

A Figura 5.10 descreve de forma sucinta o fluxograma utilizado para detecção de líquens em estruturas de betão.

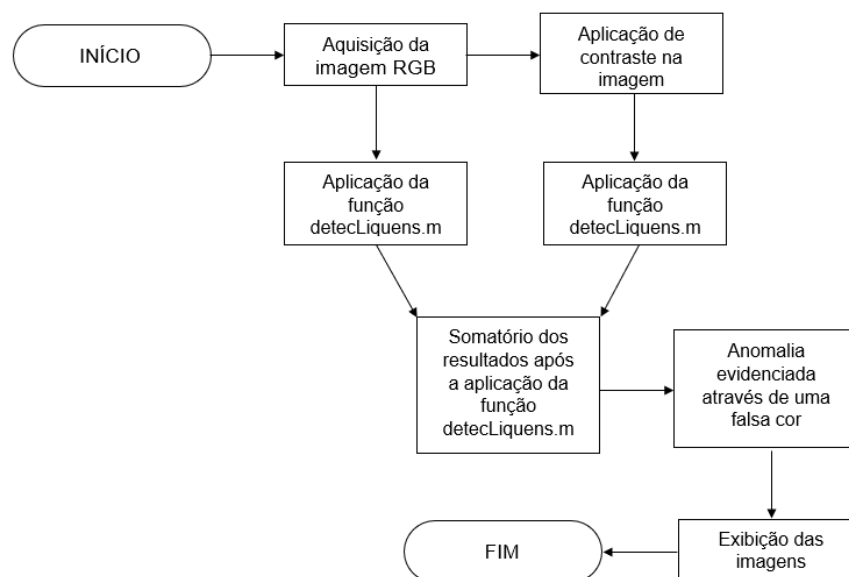


Figura 5.10 – Fluxograma pra detecção de líquens. (Acervo do autor)

Capítulo 5

A manifestação de líquens usualmente apresenta coloração amarela. Para o processamento de imagens para identificação desta anomalia, é utilizado o programa “Color Thresholder” (Figura 5.11), padrão por defeito do MATLAB.

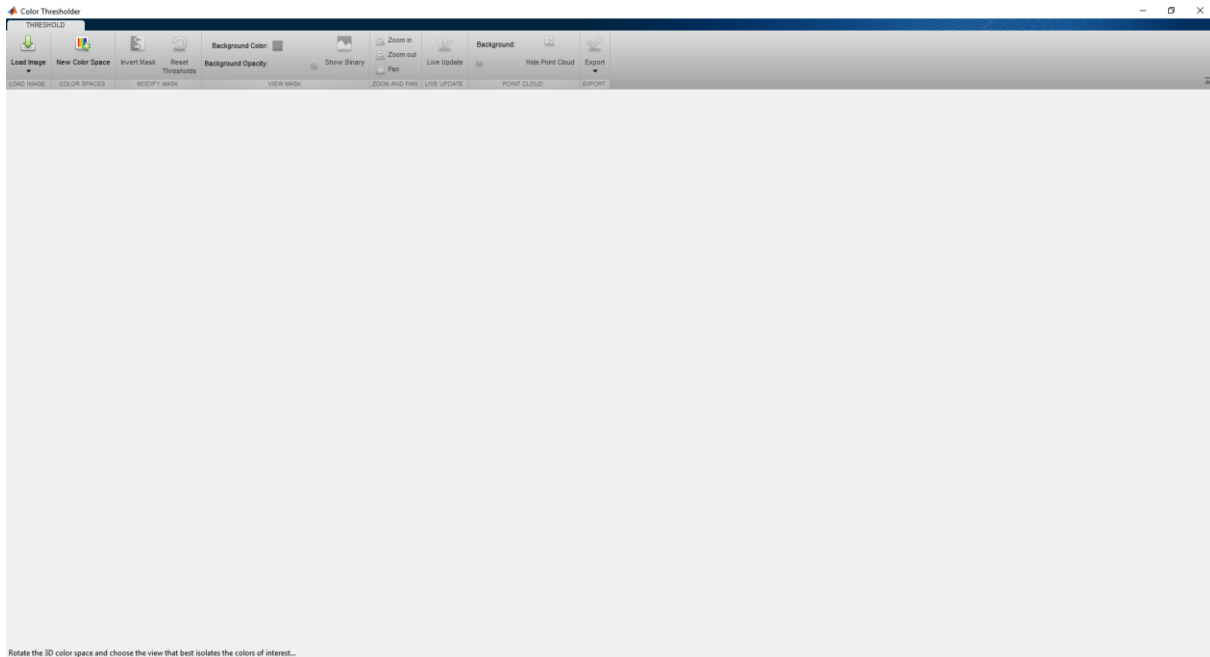


Figura 5.11 – Interface inicial do programa “Color Thresholder”. (Acervo do autor)

Este programa é utilizado para realizar a segmentação de imagens, ou seja, realizar o processo de dividir uma imagem em regiões de acordo com algum critério definido, sendo neste caso, a separação de regiões através de cores. Aplicando este conceito para a identificação de líquens, realiza-se a segmentação de imagens para identificação de regiões das imagens que apresentem a cor amarela.

Para o ajuste das cores a serem exibidas, utilizou-se o espaço de cores RGB, composta por três bandas de cores iniciais: vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Cada cor, varia sua intensidade em uma escala de 0 à 255, conforme visto na Figura 69, sendo as diversas combinações das diferentes intensidades de cada cor inicial capazes de originar as demais cores existente no espaço das cores.

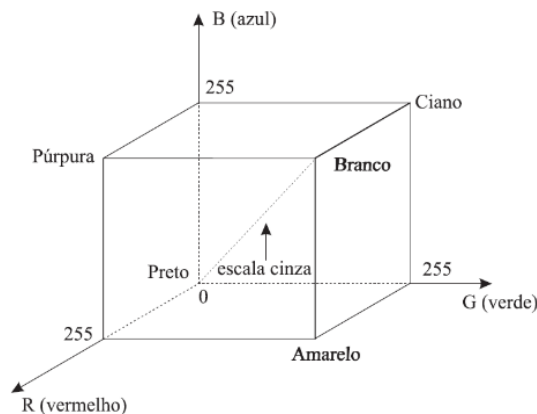


Figura 5.12 – Espaço de cores RGB. (Godinho *et al.*, 2008)

Aplicando o conceito do espaço RGB de cores para a identificação de líquens, eliminou-se a banda B da imagem, restando apenas as bandas R e G, que resultam na exibição da cor amarela. A Figura 5.13 ilustra o *layout* da função “*Thresholder Color*”, sendo a imagem à esquerda a imagem a ser segmentada e os gráficos à direita os reguladores das intensidades das bandas RGB. Portanto, através do “*Thresholder Color*”, criou-se a função “*detecLiquens.m*” para a segmentação de imagens com critério da exibição da cor amarela.

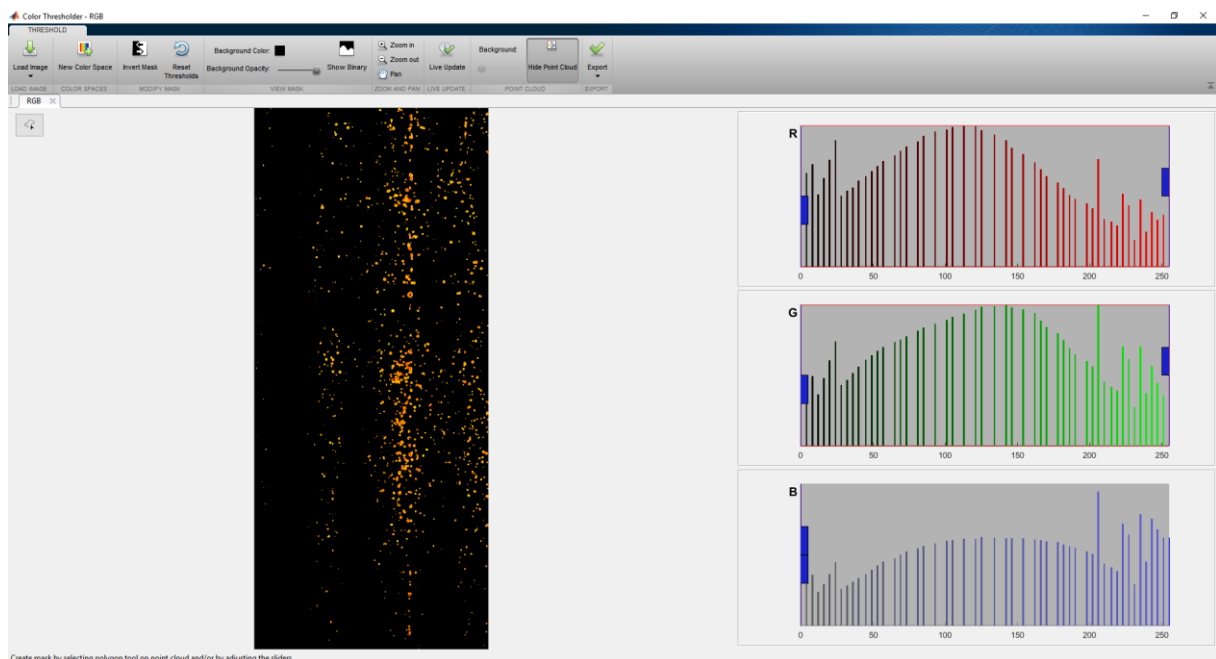


Figura 5.13 – Aplicação do filtro com R (0 a 255), G (0 a 255) e B (0). (Acervo do autor)

Aplicou-se a função segmentadora na imagem original RGB, e para melhorar a definição das cores, aplicou-se também o comando “*histeq*” para aumentar o contraste delas. Em seguida, aplicou-se a função segmentadora criada neste trabalho na imagem original e contrastada. A dupla aplicação da função “*detecLiquens.m*” se demonstra necessária uma vez que nem sempre a utilização de contraste na imagem original garante a evidência de pixels amarelos, e, portanto, isso complementa o que será identificado na contrastada. Por fim, a anomalia é evidenciada por uma falsa cor através do comando “*imoverlay*”, sendo neste trabalho adotada a cor amarela. O código do programa escrito capaz de processar um conjunto de imagens através de um *looping* é apresentado no Anexo I deste trabalho, e os resultados aplicados à dois exemplos de imagens são observados na Figura 5.14 e Figura 5.15.

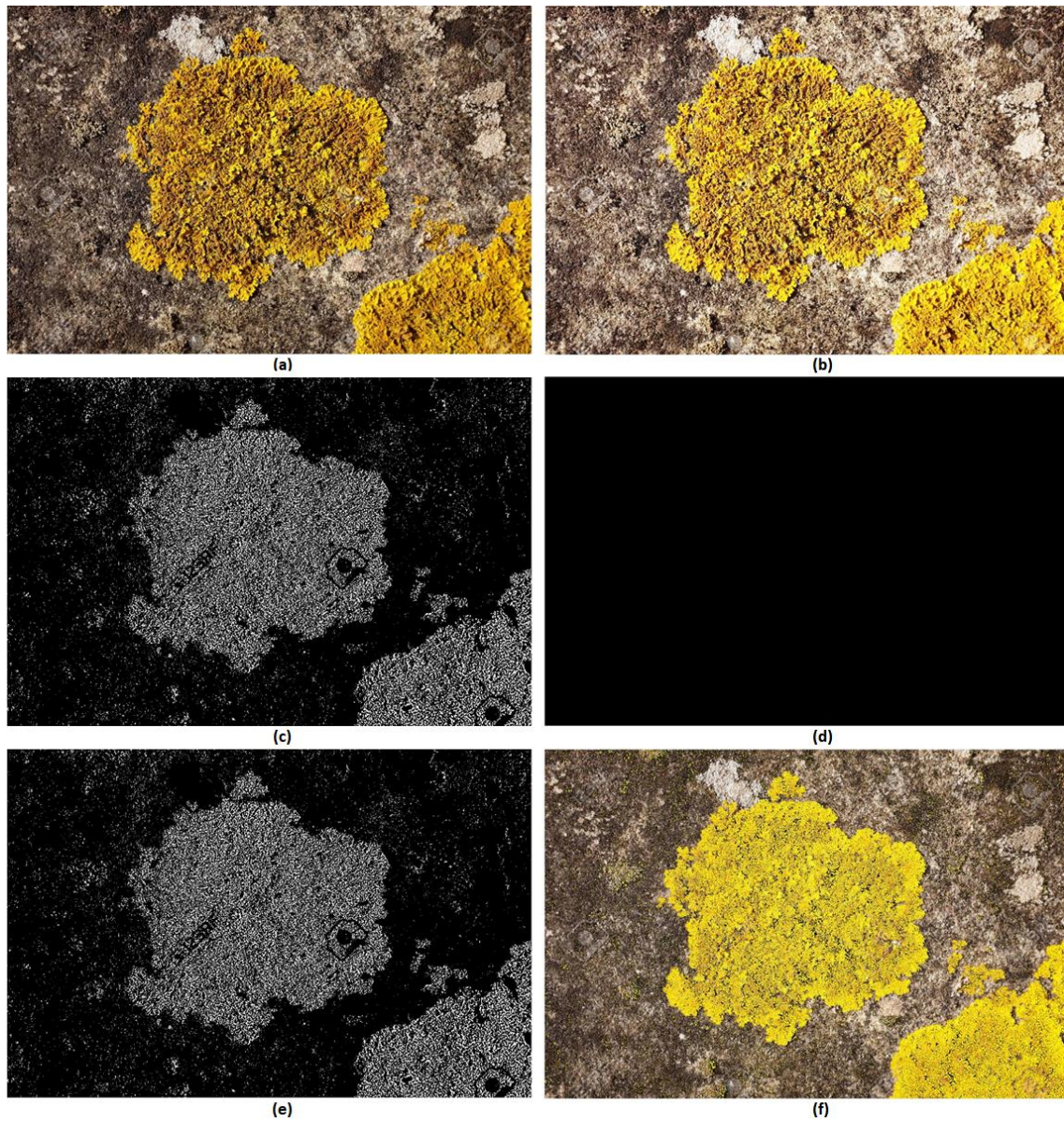


Figura 5.14 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de líquens: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) imagem com líquens evidenciados por falsa cor. (Adaptado de Marchant, 2014)

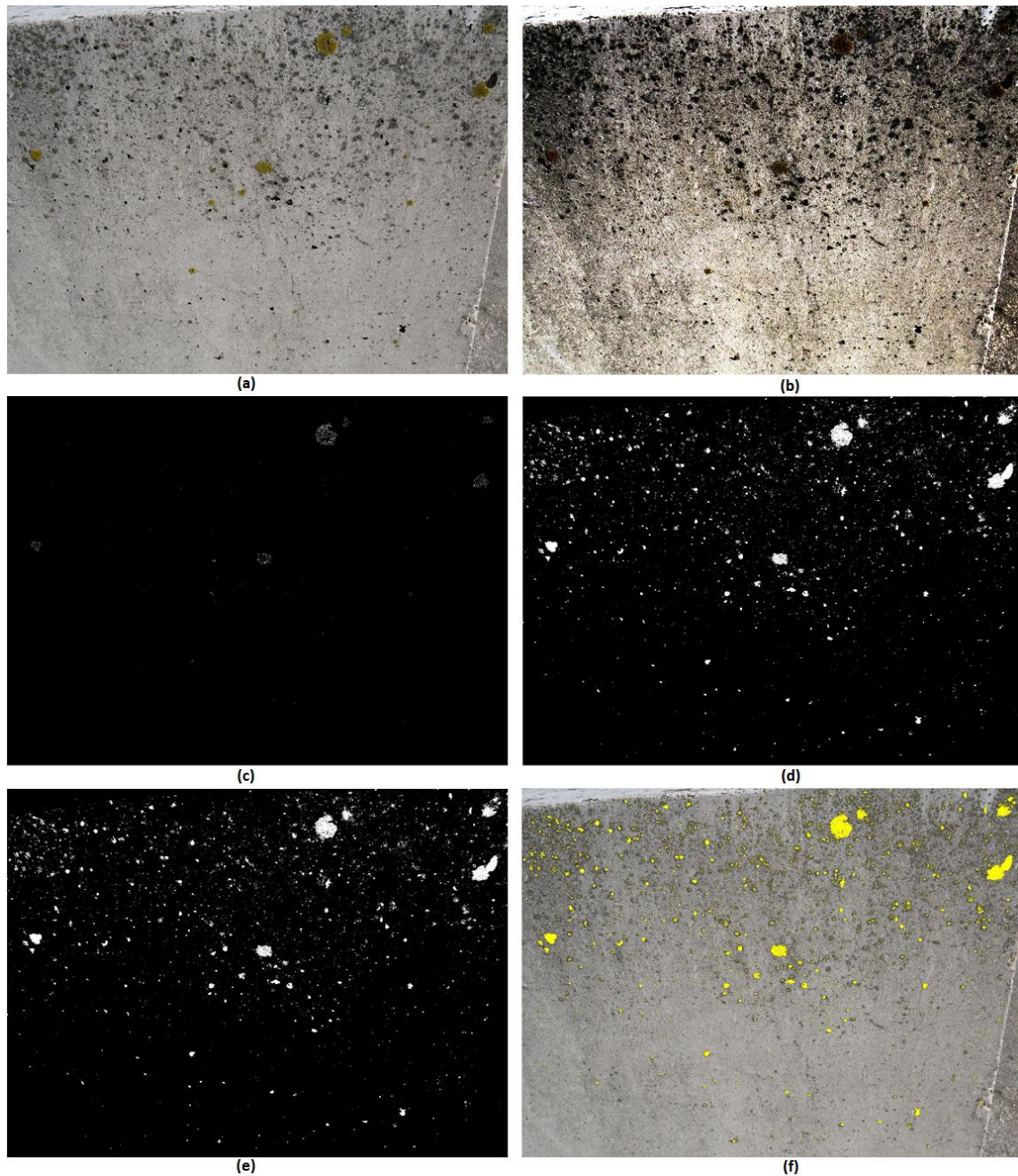


Figura 5.15 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de líquens: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) imagem com líquens evidenciados por falsa cor. (Acervo do autor)

5.2.2 Detecção de fissuras

A Figura 5.16 descreve de forma sucinta o fluxograma utilizado para detecção de fissuras em estruturas de betão.

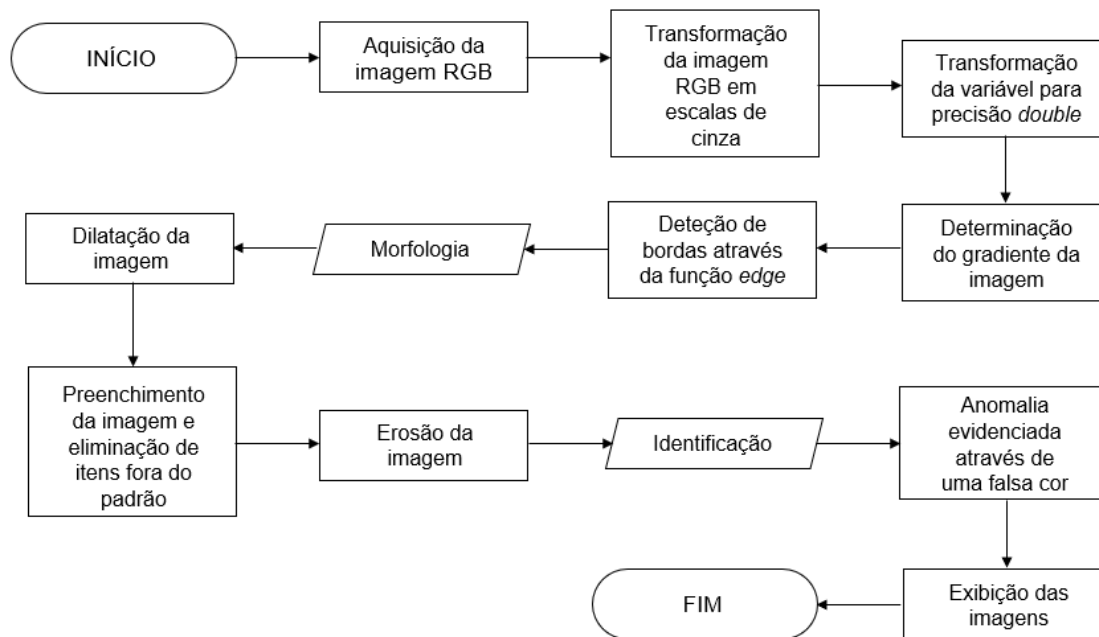


Figura 5.16 – Fluxograma pra detecção de fissuras. (Adaptado de Pereira, 2015)

A detecção de fissuras é feita através da aplicação do filtro para detecção do gradiente da imagem através do comando *“imgradient”* com o método de *Prewitt*, o qual é capaz de indicar onde existe mudança abrupta na intensidade das cores de uma imagem em escalas de cinza. Após isso, é realizada detecção das bordas através do comando *“edge”* pelo método de *Canny*, capaz de determinar através de uma imagem em escalas de cinza quais pixels compõem os objetos da imagem e quais compõem o fundo. Entretanto, para realizar essa distinção, é necessário realizar a limiarização, ou seja, a determinação do valor na escala de cinza que será o divisor para as tonalidades de cinza mais altas e mais baixas. Para isso, utilizou-se a função *“greythresh”*, padrão por defeito do MATLAB.

O processo para o tratamento de imagens com fissuras é dividido em duas etapas: morfologia e identificação. Após a detecção das bordas, a imagem sofre processos de morfologias através de cálculos matemáticos capazes de melhorar a precisão de detecção das fissuras. Portanto, após a detecção de bordas, a imagem sofre uma dilatação para que se possa preencher o espaço entre bordas e eliminar objetos fora do padrão que não caracterizados por abertura das fissuras. Este processo gerou a função no MATLAB chamada *“detecFissuras.m”*. Após isso, a imagem é erodida, sofrendo um fechamento, retornando ao tamanho original, e as fissuras são evidenciadas por uma cor falsa através do comando *“imoverlay”*, neste caso, com a cor vermelha. O código do programa escrito é apresentado no Anexo II deste trabalho, e os resultados aplicados à dois exemplos de imagens são observados na Figura 5.17 e Figura 5.18.

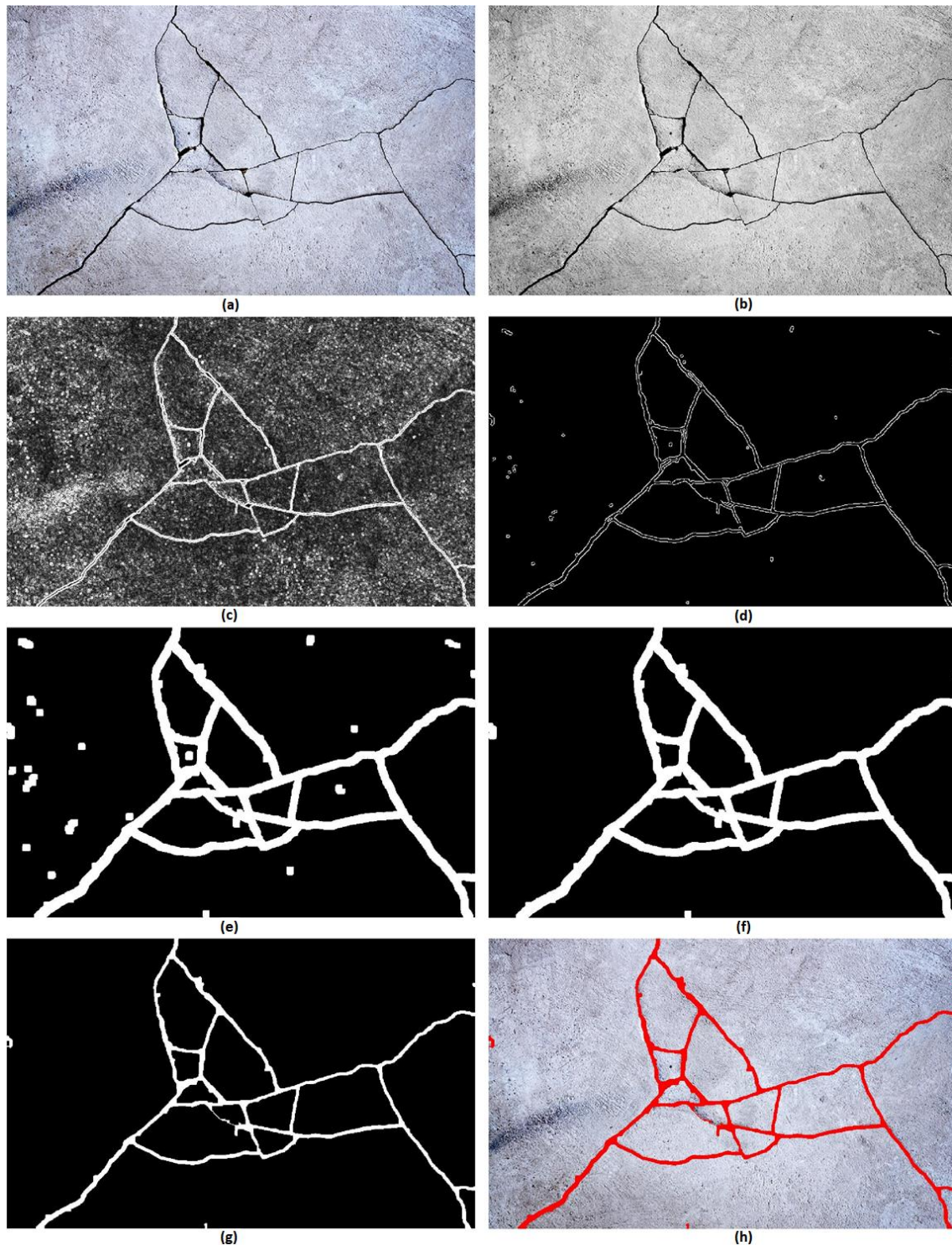


Figura 5.17 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de fissuras: (a) imagem original RGB; (b) imagem original transformada em escala de cinzas; (c) gradiente da imagem pelo método de *Prewitt*; (d) detecção de bordas pelo método de *Canny*; (e) dilatação das bordas detectadas; (f) preenchimento das bordas detectadas e limpeza de itens fora do padrão; (g) erosão da imagem com as fissuras detectadas; (h) fissuras detectadas e evidenciada por uma cor falsa. (Adaptado de Votorantim Cimentos, 2018)

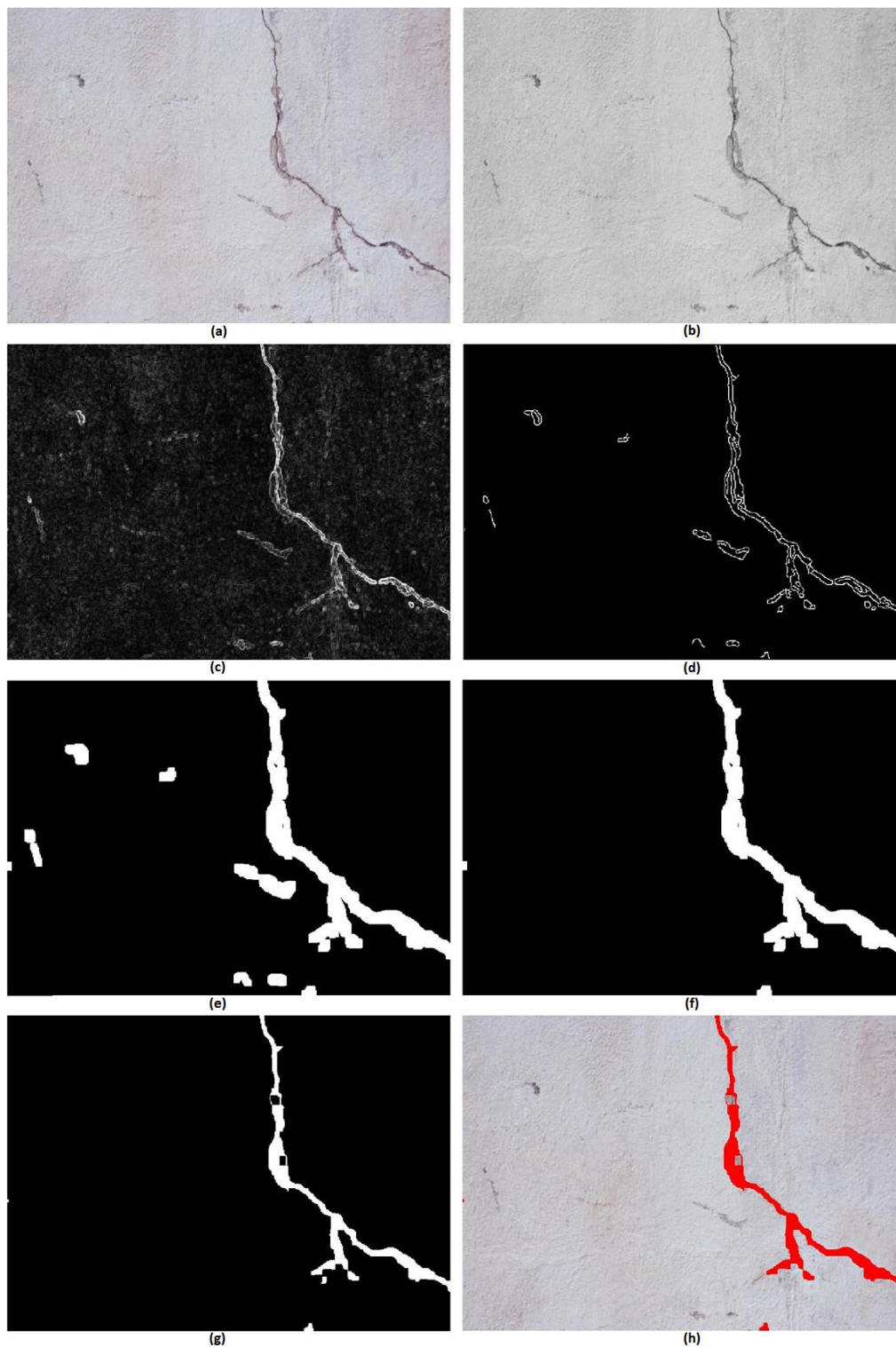


Figura 5.18 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de fissuras: (a) imagem original RGB; (b) imagem original transformada em escala de cinzas; (c) gradiente da imagem pelo método de *Prewitt*; (d) detecção de bordas pelo método de *Canny*; (e) dilatação das bordas detectadas; (f) preenchimento das bordas detectadas e limpeza de itens fora do padrão; (g) erosão da imagem com as fissuras detetadas; (h) fissuras detetadas e evidenciada por uma cor falsa. (Adaptado de Pereira, 2015)

5.2.3 Detecção de eflorescências

A Figura 5.19 descreve de forma sucinta o fluxograma utilizado para deteção de eflorescências em estruturas de betão.

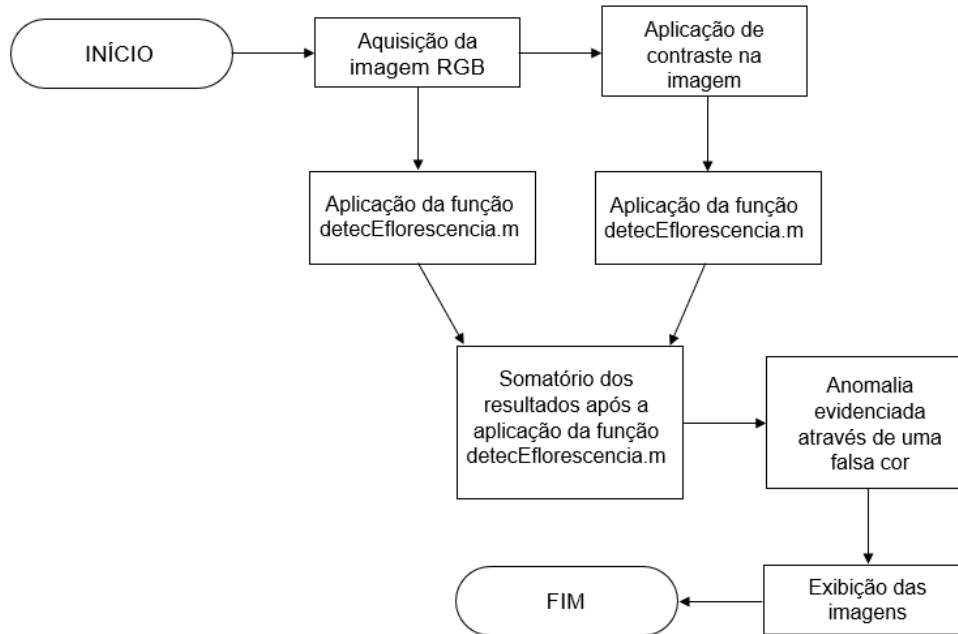


Figura 5.19 – Fluxograma pra deteção de eflorescências. (Acervo do autor)

A manifestação de eflorescências usualmente apresenta coloração branca. O processamento de imagens para identificação desta anomalia é feito com o programa “*Color Thresholder*” no espaço de cores RGB, assim como mostrado anteriormente na deteção da líquens. Neste caso, utilizou-se a segmentação de imagens através da cor branca. Observa-se na Figura 5.12 que a cor branca é originada por meio dos níveis máximos das bandas RGB, devendo as três bandas estarem ajustadas em 255. Entretanto, o resultado desta segmentação não foi satisfatório, conforme registado na Figura 5.20, onde nem toda a região com eflorescência foi detetada, necessitando um reajuste nos níveis das bandas RGB.

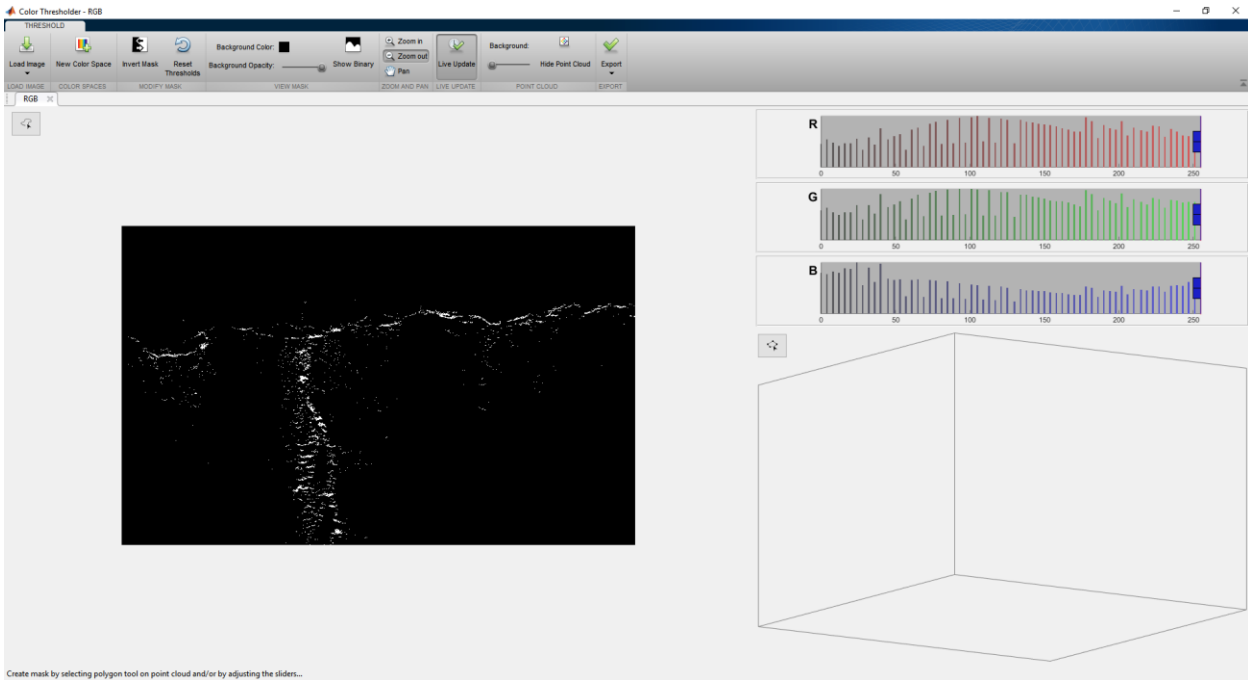


Figura 5.20 – Segmentação com RGB à níveis 255. (Acervo do autor)

A partir do primeiro ajuste, empiricamente expandiu-se o intervalo dos níveis RGB de 200 à 255, visto na Figura 5.21, sendo assim detetadas as manchas de eflorescências. Criou-se então a função “detecEflorescencias.m”.

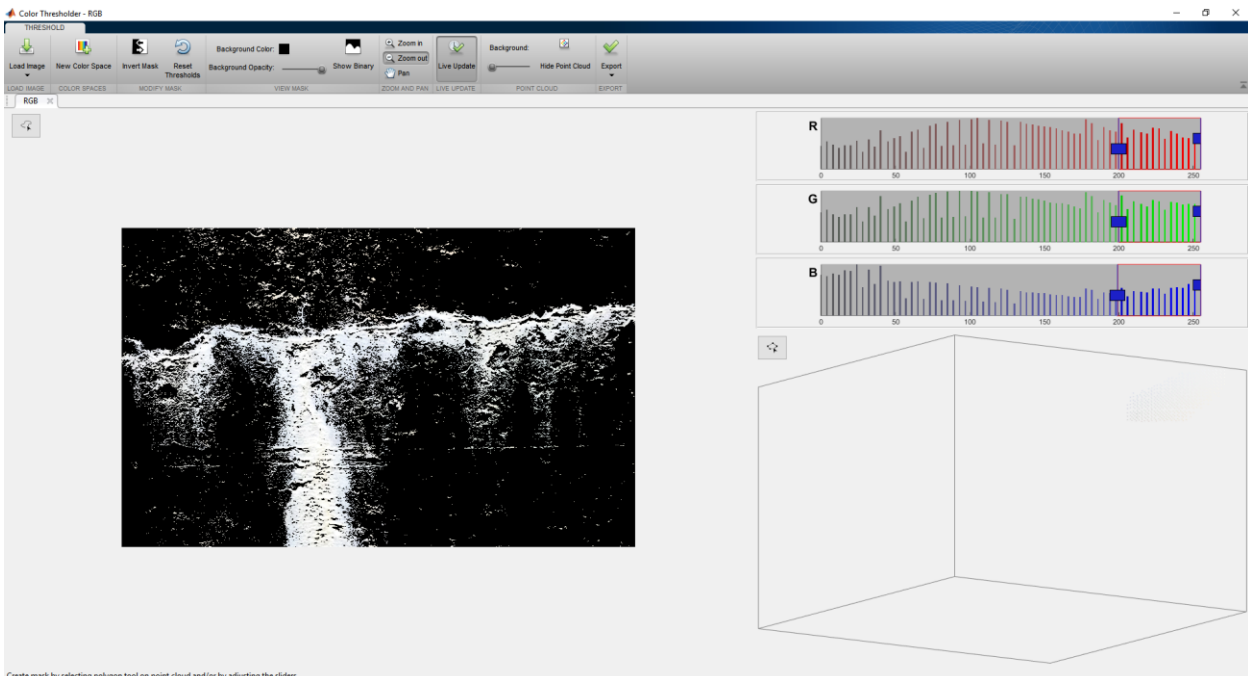


Figura 5.21 – Ajuste final dos níveis RGB. (Acervo do autor)

O algoritmo de detecção de eflorescências é análogo ao de detecção de líquens. Aplicou-se a função segmentadora na imagem original RGB, e para melhorar a definição das cores, aplicou-se também o

comando “*histeq*” para aumentar o contraste delas. A seguir, aplicou-se a função segmentadora criada neste trabalho na imagem original e contrastada. A dupla aplicação da função “*detecEflorescencias.m*” se deve a incerteza da utilização de contraste garantir a evidência de pixels brancos, e, portanto, isso complementa o que será identificado na contrastada. Ao final, a anomalia é evidenciada por uma falsa cor através do comando “*imoverlay*”, sendo neste caso adotaoda a cor vermelha. O código do programa escrito capaz de processar um conjunto de imagens através de um *looping* é apresentado no Anexo IV deste trabalho, e os resultados aplicados à dois exemplos de imagens são observados na Figura 5.22 e .

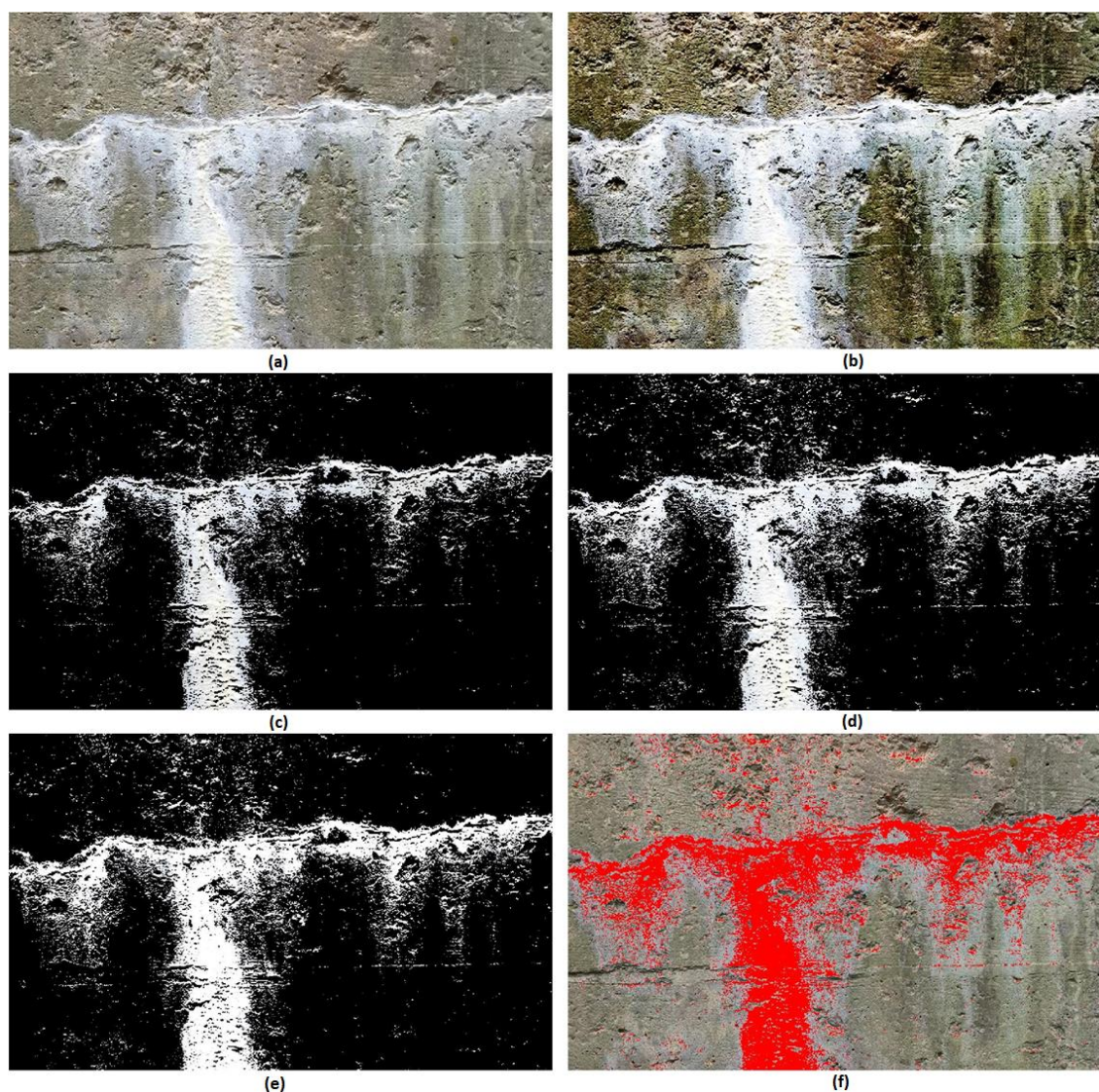


Figura 5.22 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de eflorescências: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Adaptado de Votorantim Cimentos, 2017)

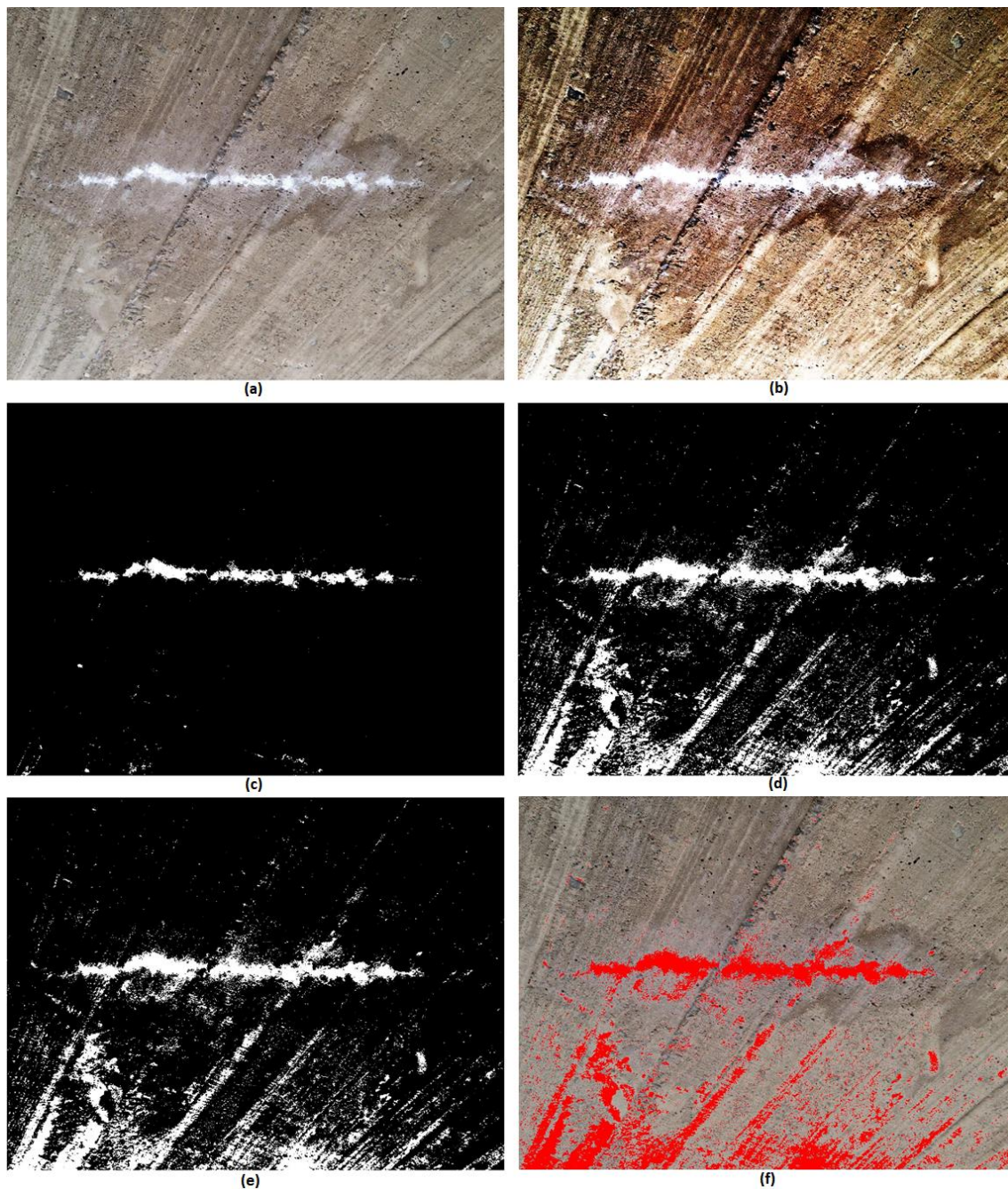


Figura 5.23 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de efluorescências: (a) imagem RGB original; (b) imagem contrastada; (c) imagem original segmentada; (d) imagem contrastada segmentada; (e) somatório das imagens (c) e (d); (f) anomalia evidenciada por um falsa cor.(Adaptado de tresuno, [s.d.]

5.2.4 Detecção de armadura exposta corroída

A Figura 5.24 descreve de forma sucinta o fluxograma utilizado para detecção de varões expostos corroídos em estruturas de betão armado.

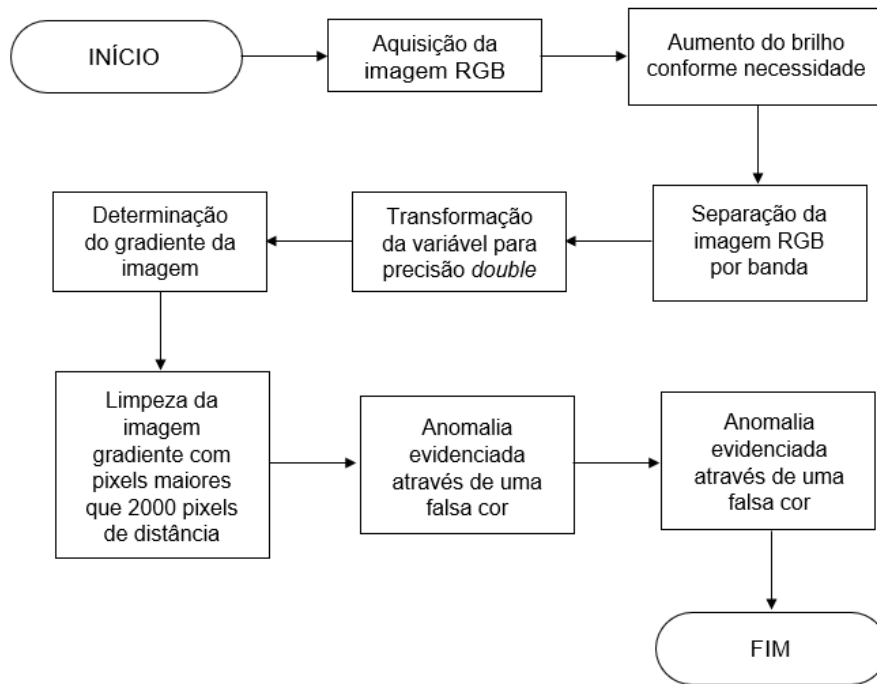


Figura 5.24 – Fluxograma pra detecção de varões expostos corroídos. (Acervo do autor)

A detecção de armadura exposta corroída é feita basicamente através do aumento do brilho para que apenas as cores mais escuras fiquem visíveis. Após isso, a separação das imagens RGB em suas bandas individuais é feita através do comando *"imsplit"*. Através dessa separação de banda, percebeu-se que a banda G é a que mais nítida exibia as cores mais escuras anteriormente evidenciadas com o aumento de brilho, e a partir delas, aplicou-se gradiente de cores similar ao que foi feito no código para detecção de fissuras. Com o gradiente determinado, executou-se uma limpeza de pixels com tamanhos maiores que 2000 pixels de distância. Assim, restando apenas o pixels representativos da armadura. Por fim, a anomalia é evidenciada por uma falsa cor, sendo neste trabalho adotada a cor vermelha, através do comando *"imoverlay"*. O código do programa escrito capaz de processar um conjunto de imagens através de um *looping* é apresentado no Anexo VI deste trabalho, e os resultados aplicados à dois exemplos de imagens são observados na Figura 5.25 e Figura 5.26.

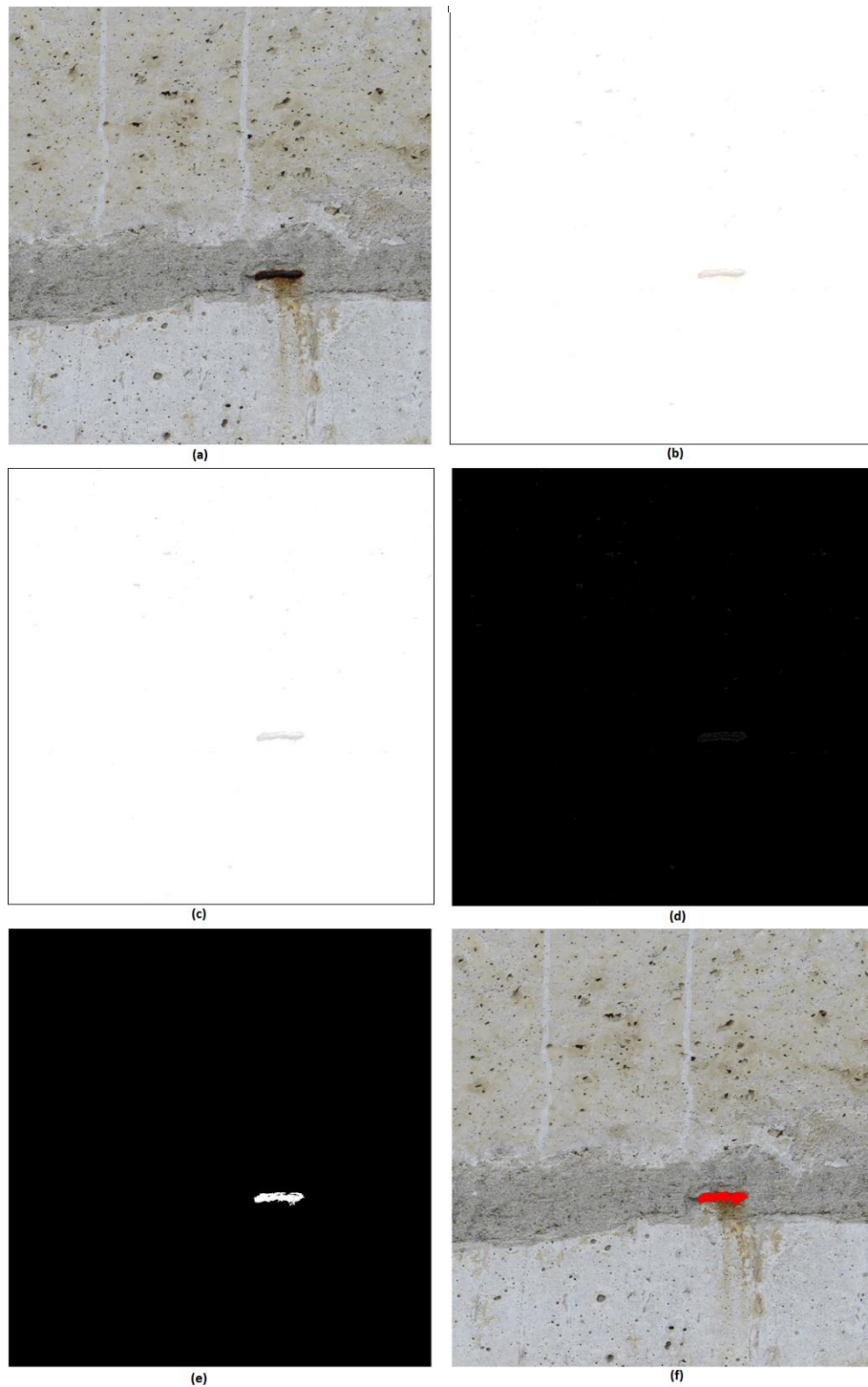


Figura 5.25 – Resultado 1 do algoritmo para detecção de varões expostos corroídos: (a) imagem RGB original; (b) imagem com brilho aumentado em 210; (c) imagem da banda G; (d) imagem do gradiente; (e) imagem do gradiente limpo; (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Acervo do autor)

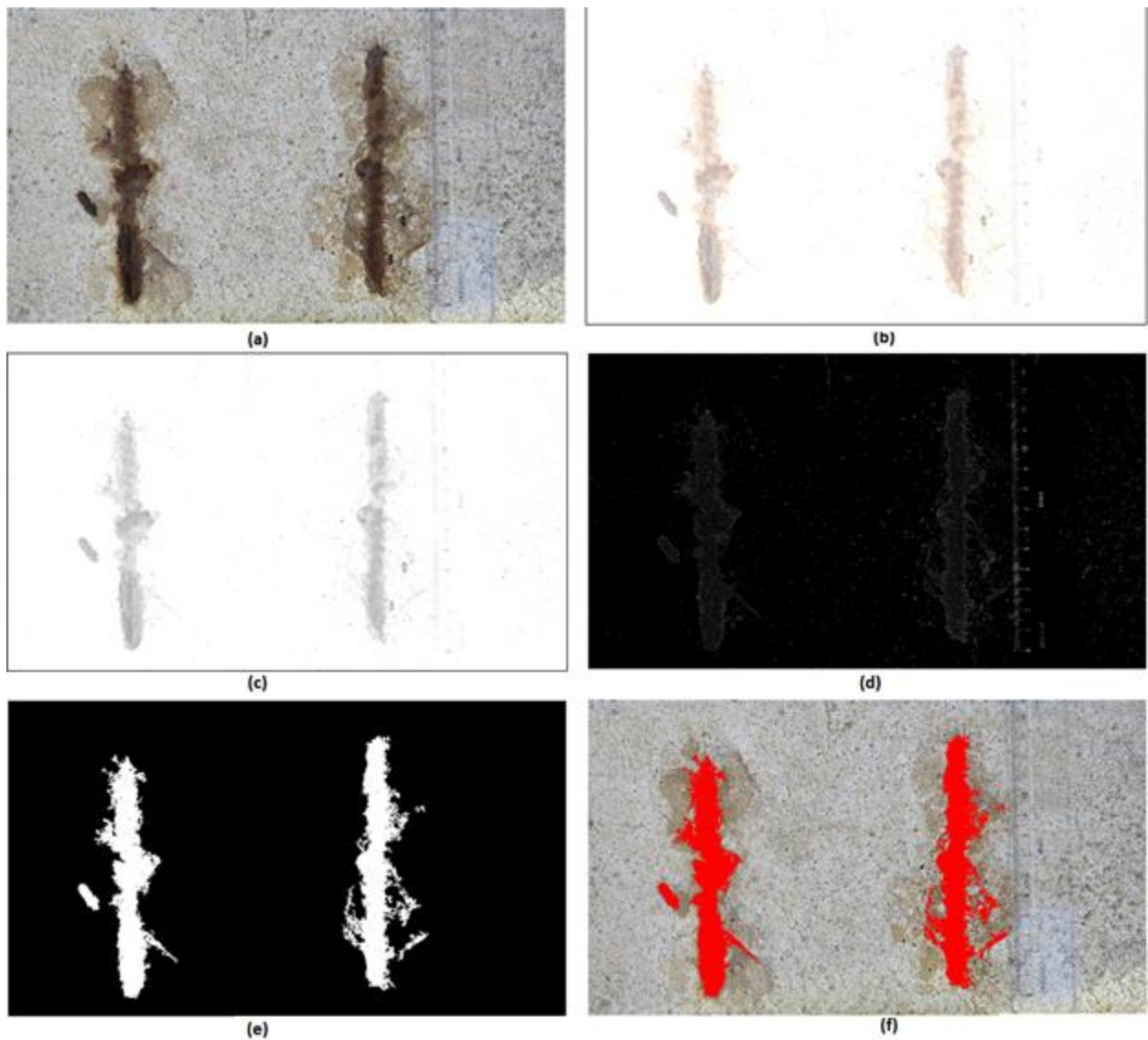


Figura 5.26 – Resultado 2 do algoritmo para detecção de varões expostos corroídos: (a) imagem RGB original; (b) imagem com brilho aumentado em 210; (c) imagem da banda G; (d) imagem do gradiente; (e) imagem do gradiente limpo; (f) anomalia evidenciada por uma falsa cor. (Acervo do autor)

CAPÍTULO 6

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção do trabalho, é apresentada a inspeção realizada na Torre do Monte da Virgem, com o auxílio de um VANT e posterior processamento da imagem digital, conforme descrito no Capítulo 5.

6.1 TORRE DO MONTE DA VIRGEM

A Torre do Monte da Virgem é uma torre de telecomunicações, construída entre 1993 a 1995, pela empresa na época chamada Portugal Telecom, atual Altice, localizada em Vila Nova de Gaia (Figura 6.1). Foi projetada pelo arquiteto António da Silva Botelho e engenheiro João Pires da Fonseca. O Centro Emissor do Monte da Virgem emite sinal de televisão digital terrestre pertinentes às emissoras RTP, ARTV, SIC e TVI.

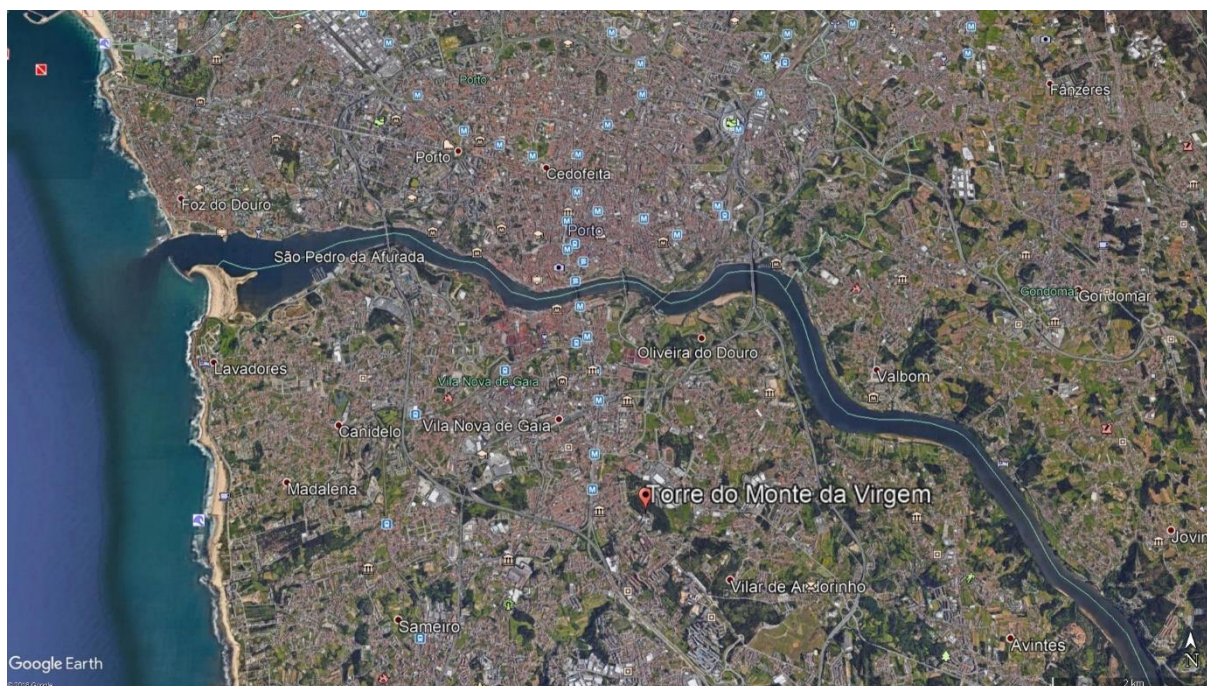


Figura 6.1 – Localização da Torre do Monte da Virgem. (Google LLC, 2019)

A torre em estudo, vista na Figura 6.2, é constituída por um fuste de betão armado, com altura de 125 m, de seção anelar, cujo diâmetro varia linearmente ao longo de sua extensão, iniciando na base com 14,300

Capítulo 6

m e finalizada no topo com 7,700 m, medidos pelas faces exteriores na torre. É dividida em cinco pisos, todos acessíveis por pessoas, constituídos por lajes em balanço feitas de betão pré-esforçado, sendo três pavimentos descobertos protegidos por guarda-corpos metálicos, e os dois restantes possuem fachadas com esquadrias metálicas de janelas. Estes pavimentos dão suporte à instalação de antenas e equipamentos técnicos.



Figura 6.2 – Torre do Monte da Virgem. (Acervo do autor)

O interior da torre, visto na Figura 6.3, possui uma estrutura metálica destinada a utilização de escada e composição da caixa do elevador, que servem como meios de acesso aos pisos superiores da torre.



Figura 6.3 – Interior da Torre do Monte da Virgem. (Acervo do autor)

Acima do fuste de concreto armado, existe uma estrutura metálica que constitui o formato de torre, utilizada para suporte de antenas e equipamento técnicos. Esta estrutura possui 52 m de altura, totalizando a Torre do Monte da Virgem com 177 m de altura, tornando-a a maior estrutura do género no norte de Portugal.

6.2 VOOS E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS EXPERIMENTAIS

Para a realização da pesquisa prática deste trabalho, foram feitos inicialmente alguns procedimentos experimentais com o intuito de treinamento e familiarização com os equipamentos a serem empregados. Como primeiro contato com VANT, foi utilizado o modelo Tello (Figura 6.4), pertencente e emprestado pelo docente co-orientador deste trabalho, Ricardo Manuel Pereira dos Santos. Esse modelo de drone é um multirrotor, quadricoptero, com peso próprio de 80 g, incluindo câmara, hélices e bateria. Possui uma autonomia de voo de aproximadamente 15 minutos.



Figura 6.4 – VANT modelo Tello. (Acervo do autor)

Com o VANT Tello, realizou-se alguns voos dentro do prédio J do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), próximo a caixa de escada, no 3º andar, pelas 18:00 horas, horário com pouca circulação de pessoas pelo local, conforme visto na Figura 6.5.



Figura 6.5 – Voo teste no prédio J do ISEP. (Acervo do autor)

Além disso, foi realizado no dia 14 de dezembro de 2018, pelas 14:30 horas, o primeiro voo teste nas instalações da torre, para verificação de possíveis interferências devido às radiações eletromagnéticas dos equipamentos na torre com o VANT Tello. O drone foi sincronizado com um *tablet* da marca Apple, modelo iPad Pro 9,7” para visualização em tempo real das imagens captadas pela câmera da aeronave. Por se tratar de um VANT classificado como brinquedo devido ao seu peso, este apresentou resultados

satisfatórios quanto às interferências eletromagnéticas, porém, sofreu interferências com o vento à uma altura de 7,80 m, apresentando a mensagem de interferência com vento vista na Figura 6.6.

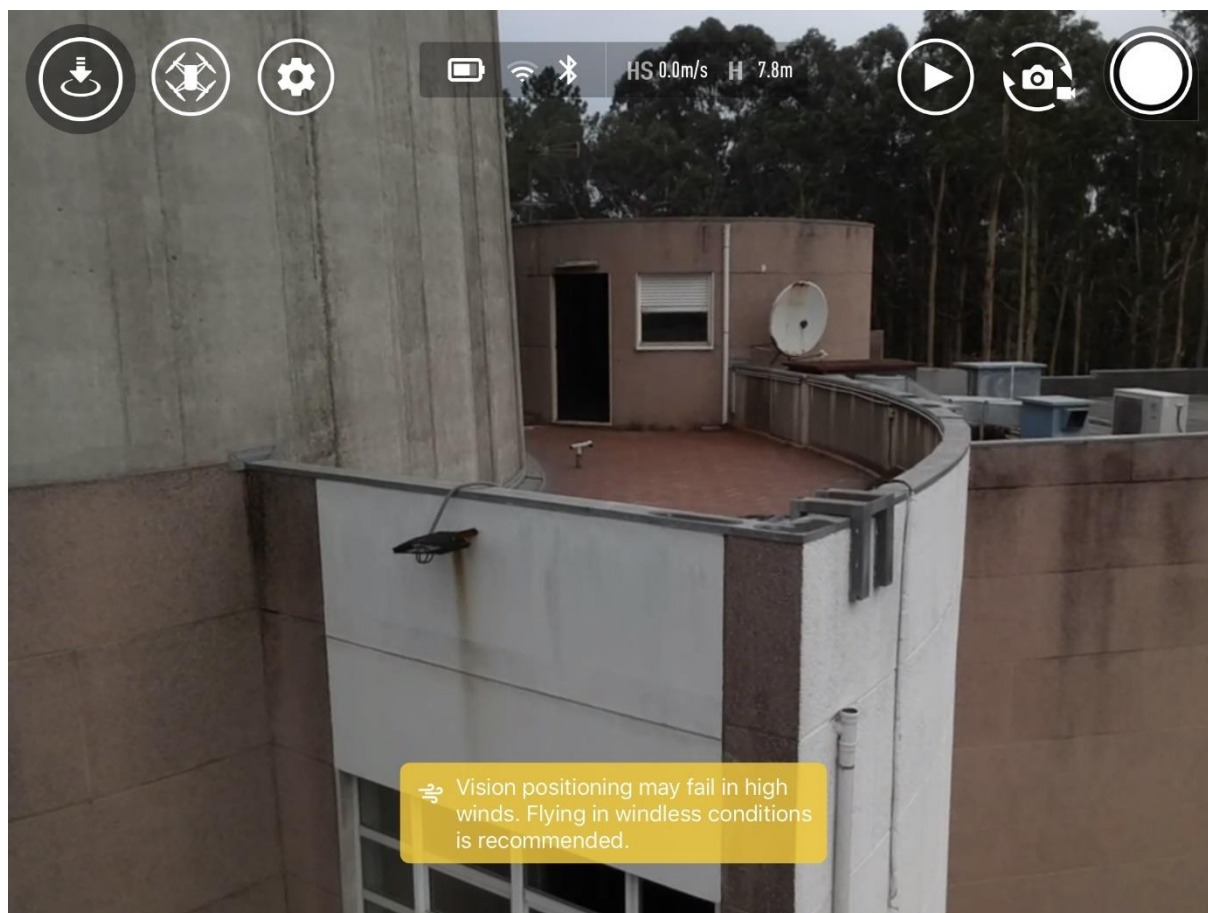


Figura 6.6 – Mensagem de interferência com vento. (Acervo do autor)

Após a familiarização com a utilização de VANT, os treinamentos posteriores foram realizados com o equipamento que é utilizado na inspeção da Torre do Monte da Virgem: o modelo Matrice 600 Pro do fabricante DJI. Este equipamento pertence ao ISEP e foi emprestado para a realização deste trabalho. Durante o mês de janeiro de 2019, aos sábados, pelas 11:00 horas, foram realizados alguns voos testes dentro do parque do ISEP, uma vez que o mesmo se encontrava sem a presença de carros, se tornando um ambiente sem risco no caso de algum acidente de queda do equipamento. O Matrice 600 Pro, possui seis hélices, e é equipado com câmera Zenmuse X5 acoplada a um *gimbal*, também do fabricante DJI, possuindo resolução para fotografias de até 16 Megapixels e gravação de vídeos com resolução 4K. Este equipamento é observado na Figura 6.7.



Figura 6.7 – Voo teste com o Matrice 600 Pro no estacionamento do ISEP. (Acervo do autor)

Durante os voos testes, automatizou-se a câmera através do temporizador para capturar fotografias a cada 5 segundos, e com isso, modelou-se parcialmente as fachadas do prédio I e prédio J do ISEP no PIX4Dmapper. Foram realizados movimentos na horizontal e vertical, capturando imagens pertencentes ao mesmo plano. Devido à realização de voo manualmente, não existiu maneira de controlar a sobreposição das imagens, entretanto, estima-se que o drone movimentou-se aproximadamente 20 cm a cada foto. O resultado do prédio I é visto na Figura 6.8 obtido com 115 fotos, enquanto o resultado do prédio J é visto na Figura 6.9 obtido com 200 fotos.

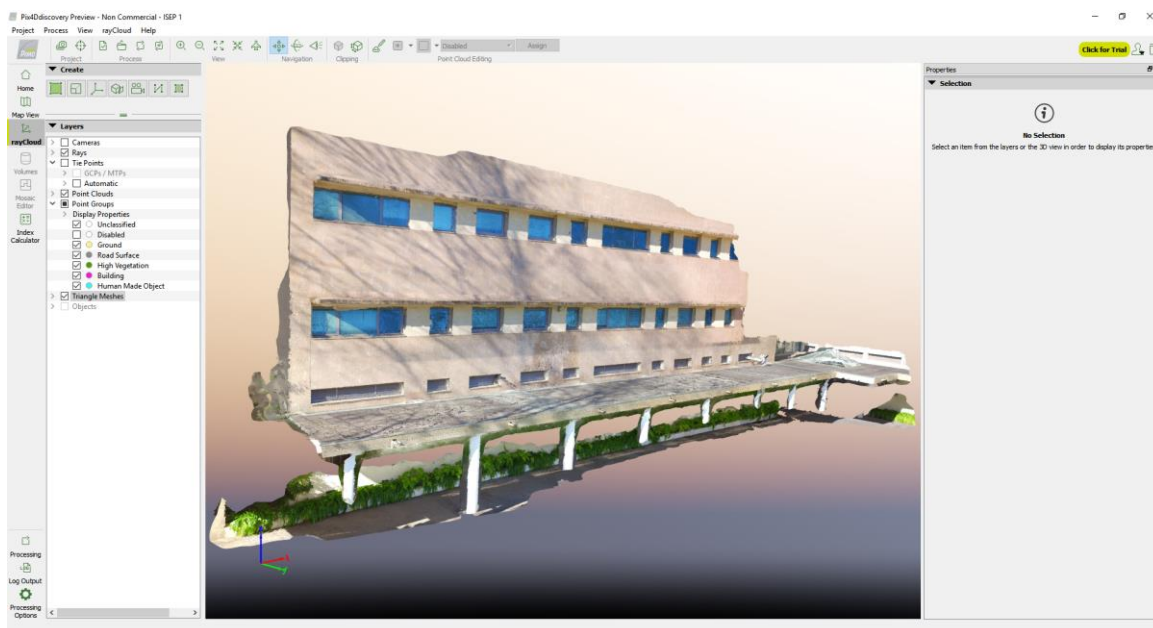


Figura 6.8 – Modelagem da fachada do prédio I do ISEP. (Acervo do autor)

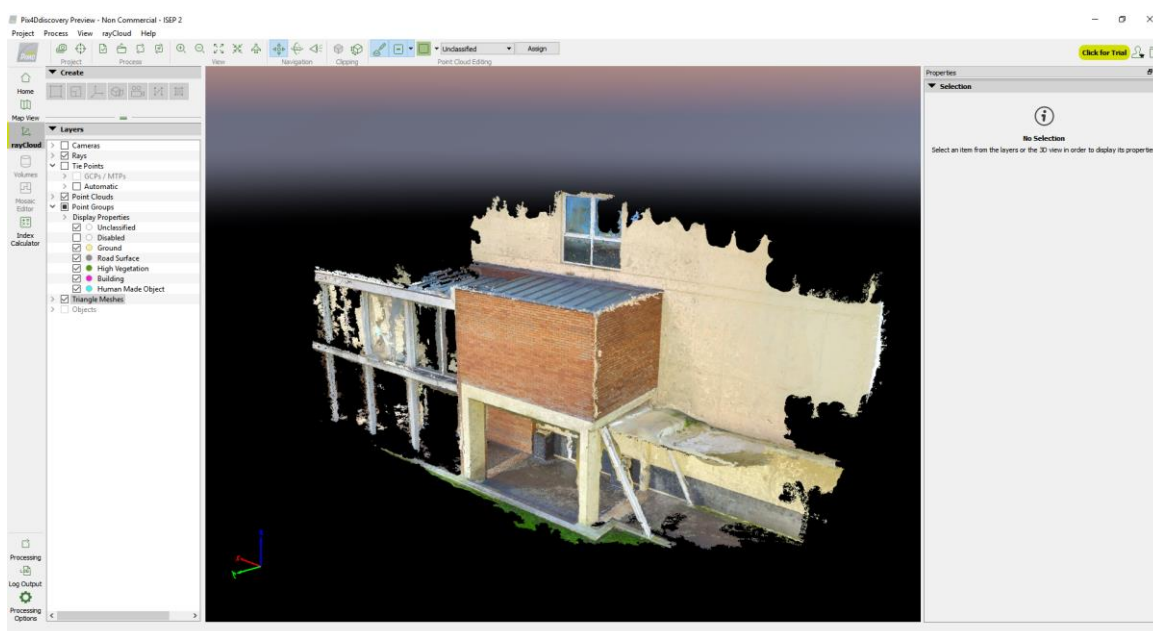


Figura 6.9 – Modelagem da fachada do prédio J do ISEP. (Acervo do autor)

6.3 INSPEÇÃO VISUAL

O processo de inspeção da Torre do Monte da Virgem iniciou com a aquisição das imagens através do VANT Matrice 600 Pro. A trajetória do voo consistiu na criação de um ciclo que combinou uma subida, seguido de um deslocamento horizontal, e finalizado com uma descida. No deslocamento horizontal, a trajetória acompanhou o formato circular da torre. A Figura 6.10 ilustra de forma esquemática o trajeto realizado pelo VANT.

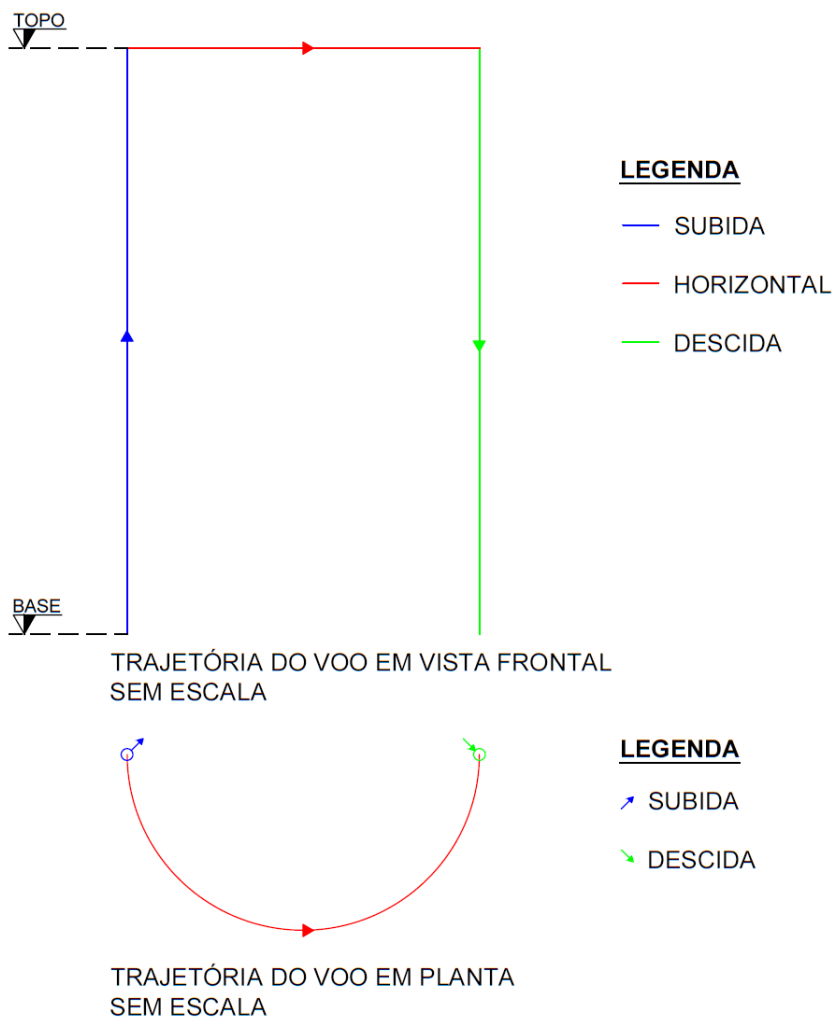


Figura 6.10 – Trajetória do voo da inspeção. (Acervo do autor)

As fases seguintes da inspeção foram realizadas de forma automatizada e manual. A forma automatizada foi feita com a criação de modelos 3D da torre no *software* PIX4Dmapper com as imagens processadas no MATLAB para a detecção de líquens. O processo iniciou-se com a renomeação das imagens tiradas da torre em uma sequência numérica por meio do *software* Adobe Bridge, que posteriormente auxiliará no processamento através de *loopings*. Após isso, as imagens foram processadas no MATLAB para filtragem das anomalias, através dos códigos escritos no Anexo I. Entretanto, um dos problemas do processamento do MATLAB é a perda de dados EXIF. Para seja possível a modelagem da torre no *software* PIX4Dmapper a partir das imagens processadas no MATLAB, utilizou-se a aplicação ExifTool, plataforma de linhas de comando utilizada para a leitura, criação e edição de metadados (Harvey, 2019, tradução nossa). Neste trabalho, o ExifTool foi executado no Prompt de Comando inerente ao sistema operacional Windows, a fim de transferir as informações contidas no EXIF das imagens originais para as imagens processadas. Os códigos dos algoritmos para cópia das informações do EXIF estão escritos no Anexo V.

A Figura 6.11 e Figura 6.12 ilustram, respectivamente, o modelo geral 3D da torre com líquens e uma ampliação pormenorizada dos líquens evidenciados por uma falta cor vermelha.

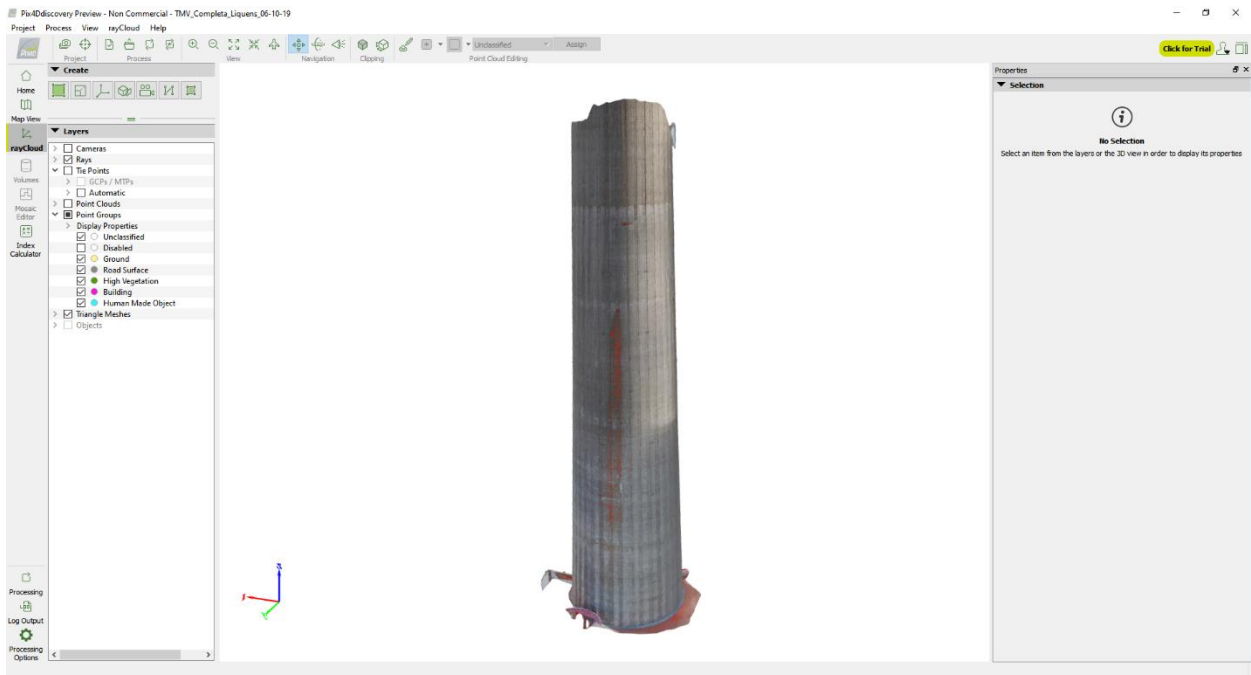


Figura 6.11 – Modelo 3D com líquens evidenciados. (Acervo do autor)



Figura 6.12 – Pormenorização do modelo 3D com líquens evidenciados. (Acervo do autor)

A partir do comando “New Surface” (Figura 6.13) é possível determinar uma região para ser medida sua área, entretanto, a versão do PIX4Dmapper utilizada neste trabalho não permitiu a determinação das áreas que com proliferação de líquens.

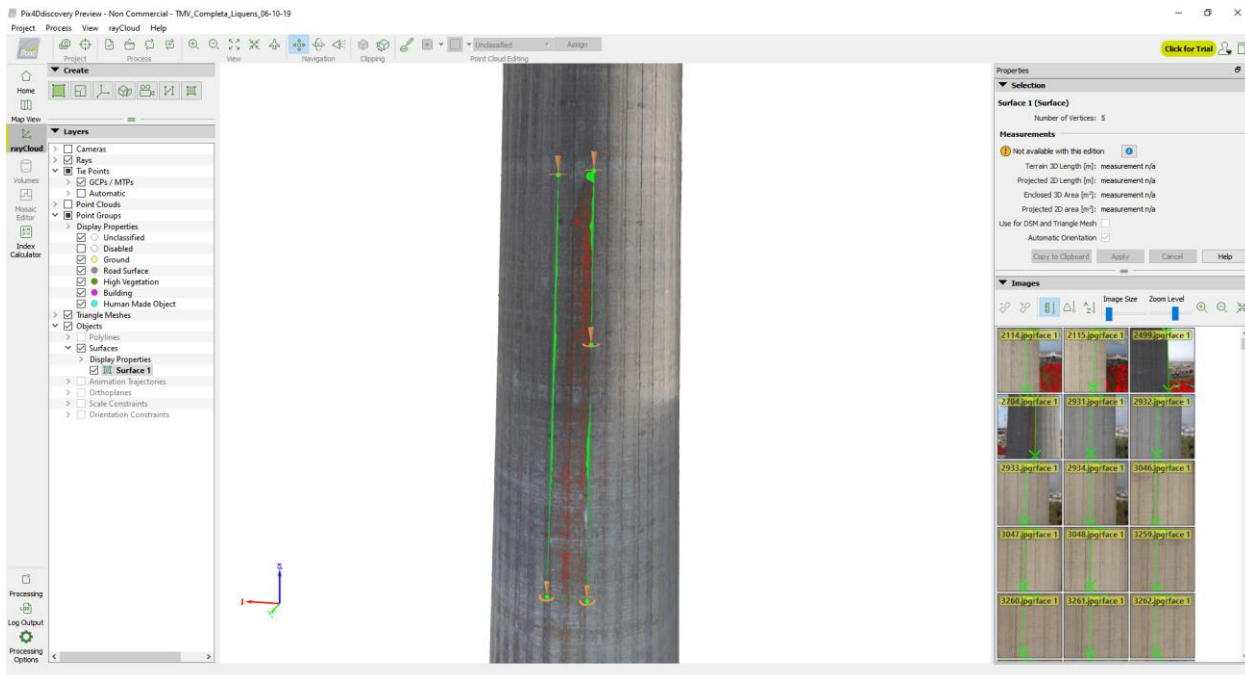


Figura 6.13 – Comando “New Surface”. (Acervo do autor)

Para as demais anomalias, foi criado um modelo 3D com as imagens originais, e a partir dele, foi feita uma análise manual pormenorizada das demais anomalias encontradas. Registou-se a inspeção através de quatro fichas de inspeção, contidas no Anexo VI deste trabalho, sendo uma para cada alçado da torre: Norte, Sul, Leste e Oeste. Para auxílio dela, utilizou-se como base a lista de anomalias e causas descritas na seção 3.1 do presente trabalho.

CAPÍTULO 7

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A pesquisa prática deste trabalho consistiu na realização da inspeção visual de telecomunicações Torre do Monte da Virgem com o auxílio de um VANT hexacoptero do fabricante DJI, modelo Matrice 600 Pro, equipado com câmera digital de alta resolução. Após a coleta dos dados, estes foram processados computacionalmente, por meio dos quais foram possíveis realizar análises e obter resultados mais fiáveis.

Foram realizados voos nos dias 30 de março de 2019, 01 de junho de 2019, 08 de junho de 2019, 22 de junho de 2019, 29 de julho de 2019, 28 de setembro de 2019 e 05 de outubro de 2019. Com eles foi possível a obtenção de 3701 fotografias do fuste de betão armado da torre, indo da base até a altura de 60 m. Através delas, foi possível a criação de modelos 3D no *software* PIX4Dmapper a partir das imagens originais e imagens processadas no MATLAB para deteção de anomalias. Utilizou-se para isso um computador com processador Intel Core i7 da 8ª geração, com placa de vídeo dedicada de 2 GB, memória RAM de 12 GB, levando aproximadamente 20 horas para a criação do modelo 3D original e 17,5 horas para criação do modelo de líquens, ambos em baixa resolução. A partir do modelo 3D, dividiu-se a torre em quatro vistas para análise separadas, denominadas por Alçado Norte, Alçado Sul, Alçado Leste e Alçado Oeste. Cada vista foi analisada por um ficha de inspeção presente no Anexo VI.

No tocante a automatização de deteções de anomalias, a função de deteção de líquens apresentou resultados satisfatórios, sendo possível a identificação de pontos com a proliferação de líquens na superfície da torre. Os filtro de deteção de fissuras, eflorescências e armadura exposta corroída, apesar de demonstrarem eficiência nas imagens de teste apresentadas nas seções 5.2.2, 5.2.3 e 5.2.4, apresentaram resultados insatisfatórios com as imagens da torre, sendo possível através dela o registo de objetos que não fissuras, eflorescências e armaduras expostas corroídas, uma vez que as imagens da torre apresentaram variações significativas de cores devido à luminosidade externa do ambiente, o que afeta de forma sensível os resultados dos filtros criados para deteção de tais anomalias.

A partir da inspeção visual da Torre do Monte da Virgem, descrita na seção 6.3 deste trabalho, pode-se aferir que o fuste da estrutura apresentou as seguintes anomalias: delaminação (A3), armadura exposta (A4), corrosão da armadura (A5), eflorescência (A7), manchas de humidade (A8), rugosidade no betão

Capítulo 7

(A13), desalinhamento da estrutura (A18), proliferação de líquen (A20), furos para instalação de equipamentos (A21) e junta de betonagem (A23).

A armadura exposta é ocasionada pela falta da camada de recobrimento (C9), que ao deixá-lo exposto ao tempo (C11) e/ou ocorrência de carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6) gera sua oxidação (C4), que por sua vez sofre uma expansão de volume, ocasionando tensões internas no betão e soltura das camadas mais externas do betão das camadas mais internas da estrutura (delaminação).

As principais causas para a ocorrência de manchas de eflorescências estão relacionadas a qualidade do betão, e foram identificadas como descalcificação do betão (C3) e/ou reação álcalis-sílica (C24).

O desalinhamento da estrutura pode ser evidenciado por linhas verticais que provavelmente tenham sido deixadas nas juntas das cofragens, e por isso, a possível causa para esta anomalia é a má execução das cofragens (C1). Além dela, a ocorrência de juntas de betonagem também são ocasionadas pela má execução das cofragens (C1), podendo ser acrescentado a betonagem de grandes volumes de betão (C30), caracterizando a execução desta tarefa em mais de um único dia, possibilitando a má aderência entre os betões de diferentes idades.

A rugosidade na superfície betão e proliferação de líquens são anomalias que ocorrem de forma conjunta, ou seja, através da colonização de agentes biológicos, tais como líquens, é muito possível encontrar um betão rugoso. As possíveis causas para a proliferação de líquens é a submissão da superfície do betão à humidade (C7) e exposição ao tempo (C11) constantes, juntos à porosidade do betão (C29) que permite a penetração de tais agentes biológicos na superfície da estrutura, possibilitando assim a sua proliferação. As possíveis causas para a existência de um betão rugoso é a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15). As manchas de humidade são ocasionadas pela exposição a humidade (C7) constante, confirmada pela proliferação de líquens na superfície da estrutura.

As aberturas na superfície da estrutura, são anomalias que possivelmente tenham sido causadas para a passagem de instalação de equipamentos, tais como elementos de travamento das cofragens, ou seja, má execução das mesmas (C1).

A partir de todas as anomalias encontradas, avaliou-se o estado de conservação do fuste da torre segundo critérios de natureza, estado desenvolvimento, extensão atual da anomalia, função do elemento estrutural analisado, e consequência das anomalias para outros elementos constituintes do sistema estrutural. Para todo o fuste estudado, o desenvolvimento, extensão e consequência foi atribuída nota 1, enquanto para os demais critérios foi conferida nota 0. Logo, a estrutura de enquadrado em um estado de conservação EC3.

A partir da avaliação do fuste da torre, é possível afirmar de forma globalizada que a estrutura se apresenta em um estado de conservação EC3, ou seja, um estado de conservação mau, necessitando de

intervenções a médio prazo que visem uma reparação a nível de durabilidade dos componentes, o que também justifica não necessidade de alertas. Este estado de conservação condiz com a estrutura, uma vez que as anomalias apresentadas não comprometem sua funcionalidade e segurança, entretanto, se faz necessário a sua manutenção periódica visto que a sua idade é de 24 anos desde término de construção e ela não sofreu nenhuma intervenção a respeito.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

Através da realização de estudos relacionados a inspeções visuais em estruturas com o uso de VANT, foram pesquisados artigos e trabalhos relacionados ao tema. Neste trabalho, foi apresentado um estado da arte sobre o assunto, com algumas pesquisas do que já foi feito em inspeções com o auxílio deste inovador equipamento e posterior tratamento de dados coletados através do processamento digital de imagens.

Em contraste a esta nova metodologia de inspeção, foi descrito o procedimento mais tradicional utilizado para a realização de inspeções visuais, como o método mais manual que utiliza registros fotográficos e anotações manuais *in loco*, que em seguida são analisados, para então avaliar o estado de conservação da estrutura. Entretanto, com o avanço da engenharia, algumas estruturas tornaram-se inacessíveis ou simplesmente não apresentam condições seguras para o inspetor. Por isso, a utilização de tecnologias que possibilitem o acesso visual da estrutura vem ganhando importância em pesquisas e na criação de metodologias, como a utilização de VANT vista neste trabalho.

Visto a aplicabilidade do uso de um Matrice 600 Pro na inspeção visual da Torre do Monte da Virgem, esta tarefa tornou-se possível e foi realizada de forma satisfatória, uma vez que foi possível concluir a tarefa e atender aos objetivos traçados. Por se tratar de uma torre de telecomunicações, a utilização do VANT representou a diminuição de exposição do ser humano a realização de atividades perigosas de trabalho, como por exemplo, o trabalho em altura com a inspeção através de rapel na estrutura e exposição ao campo eletromagnético gerado pelos equipamentos de telecomunicações.

Entretanto, a utilização de VANT apresentou algumas limitações, tais como a elevados custos para aquisição de um equipamento deste, sua utilização ser dependente do tempo, não podendo ser utilizado em dias chuvosos ou com fortes rajadas de ventos. Além disso, para manuseá-lo faz-se necessário a utilização de operadores habilitados e familiarizados com o equipamento, devendo possuir algum tipo de treinamento, sendo necessário a utilização de pelos menos duas pessoas, sendo uma para manuseá-lo e outra para observá-lo. Apesar da adoção deste equipamento tornar algumas situações de trabalho menos

inseguras, a utilização deste tipo de aeronave também apresenta suas situações de risco particulares, como por exemplo, a utilização dela em locais sem nenhuma concentração de pessoas no caso de queda. Além disso, devido ao tamanho do equipamento, como é observado ficha de inspeção 2, é possível perceber no alçado Sul que há um trecho faltando na base da torre. Isto ocorreu devido a existência de uma árvore muito próxima à torre que impossibilitou a passagem do VANT nesta região para capturar imagens da torre.

A utilização de processamento de imagens digitais mostrou-se de grande valia para a realização de inspeções visuais. Com o MATLAB, foi possível a criação de funções que detetem as anomalias a partir das imagens obtidas da estrutura, o que contribui para a redução de tempo na inspeção e erros que são cometidos com a análise manual. Entretanto, algumas das funções criadas neste trabalho necessitam alguns ajustes devido à sensibilidade de luminosidade externa do ambiente em que o registro fotográfico foi feito. Com o *software* PIX4Dmapper foi possível a criação de um modelo 3D da torre, e posteriormente, a extração de imagens da mesma para analisar de forma minuciosa as patologias encontradas. Para a modelagem tridimensional da torre, foi encontrada a limitação de necessidade de um computador com configurações elevadas, visto que o utilizado neste trabalho necessitou de uma média de aproximadamente 19 horas de processamento por modelo, tempo significativo para a execução da tarefa.

No geral, a metodologia feita neste trabalho apresentou resultados satisfatórios, concluindo o objetivo principal. A inspeção realizada concluiu a presença das seguintes anomalias: delaminação, armadura exposta, corrosão da armadura, eflorescência, manchas de humidade, rugosidade no betão, desalinhamento da estrutura, proliferação de líquen, furos para instalação de equipamentos e junta de betonagem. As possíveis causas associadas a estas anomalias, foram indentificadas como: má execução das cofragens, má vibração do betão, descalcificação do betão, corrosão da armadura, carbontação, penetração de cloretos, humidade, exposição ao tempo, erosão, reação álcalis-silica, porosidade do betão e grande volume.

Considerando as anomalias encontradas e suas prováveis causas, concluiu-se que o estado de conservação da torre avaliado ao final da inspeção foi classe 3, ou seja, estado de conservação mau, necessitando reparação no nível de durabilidade dos componentes com reparações a médio prazo, visto que nenhuma patologia sugeriu a necessidade de alguma alerta. Por motivos de falta de recursos e limite de tempo, não foram realizados ensaios de diagnóstico na estrutura, mas salienta-se que estes devem ser realizados de modo a ter mais conhecimento das anomalias presentes na estrutura e seu estado de conservação, podendo esses ensaios determinarem um aumento ou decréscimo no estado de conservação. Na situação deste trabalho, o próximo passo da inspeção da estrutura, após determinação das patologias presentes e conclusão do estado de conservação, será verificar quais ensaios vistos na

seção 3.2.3 devem ser adotados e feitos, para então verificar novamente o estado da estrutura e planejar quais os tipos de intervenções a serem executadas.

Apesar da metodologia adotada apresentar elevados custos devido ao equipamento adotada, o uso de VANT contribuiu para redução significativa de tempo de execução da inspeção e tornou a estrutura acessível visualmente, concluindo-se então que a inspeção da estrutura deve considerar o custo-benefício e viabilidade técnica do método de inspeção em que se deseja adotar.

8.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com a realização desta dissertação, observa-se pontos, resultados e conclusões que merecem ser continuados em investigações futuras.

Para trabalhos futuros que abordem esta temática, sugere-se a criação de programas computacionais que sejam capazes de detetar automaticamente as demais anomalias não desenvolvidas neste trabalho. É plausível a tentativa de inclusão de *learning machine* para reconhecimento autônomo de patologias nas estruturas.

Além disso, sugere-se o ajuste de efeitos da luminosidade nas funções utilizadas para a captação de fissuras, eflorescências e armadura exposta, uma vez que estas possuem elevada sensibilidade a qualidade das imagens registada e das condições de luminosidade no momento do registo.

A inspeção das partes restantes da estrutura da Torre do Monte da Virgem contribuirá para resultados mais significativos na validação do estado de conservação global da estrutura. Devido a falta de tempo e recursos, seria interessante futuramente a sugestão de ensaios de diagnóstico na estrutura caso estes de façam necessários.

Por fim, a utilização de um voo programa, em que o VANT seja capaz de voar autonomamente também seja melhor para a criação de um modelo com maior e melhor sobreposição de imagens na sua construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Certificados de Drones**. 2017b. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/registros-e-certificados-de-drones>>. Acesso em 16 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC-E nº 94**. 2017a. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf>. Acesso em 16 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Drones devem ser homologados para evitar interferências**. 2016. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque/2-uncategorised/1485-drones-devem-ser-homologados-para-evitar-interferencias>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

AGOSTINHO, Sérgio Lobato. **Inspeção e monitorização de estruturas em engenharia civil: utilização de UAV na inspeção e monitorização**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Madeira, Funchal, 2012. Disponível em: <<https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/570/1/MestradoS%C3%A9rgioAgostinho.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

AUTORIDADE NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL. **Diário da República**. 2ª Série. Nº 238. 2016. Disponível em: <<https://www.voanaboa.pt/Files/downloads/Regulamento-1093-2016-Drones.pdf>>. Acesso em 16 abr. 2019.

BASTOS, Bruno da Cunha; ERCOLIN FILHO, Leonardo. **Utilização da tecnologia LIDAR em projetos de engenharia de infraestruturas viária**. Córdoba: *XI Congresso Nacional y Viii Latinoamericano de Agrimensura*, 2012. 5 f. Disponível em: <<http://www.anea.org.br/artigos/LidarInfraEstruturaViaria.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

CARACAS, Ana Carolina et al. **Ensaios não destrutivos para avaliar a durabilidade do concreto**. Paraná, [20--]. 59 slides, color. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/c5/04_Ensaios_n%C3%A3o_destrutivos.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2019.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO – **NP EN 12504-2: Ensaios do betão nas estruturas Parte 2: Ensaio não destrutivo: Determinação do índice esclerométrico**. Caparica: Instituto Português de Qualidade (IPQ), 2003. 8 p.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO – **NP EN 12504-4: Ensaios do betão nas estruturas Parte 4: Determinação da velocidade de propagação de ultra-sons**. Caparica: Instituto Português de Qualidade (IPQ), 2007. 18 p.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO – **NP EN 13791: Avaliação da resistência do betão nas estruturas e em produtos prefabricados**. Caparica: Instituto Português de Qualidade (IPQ), 2008. 32 p.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO – **NP EN 1990: Projeto estrutural – Eurocódigo 0: Bases para o projecto de estruturas**. Caparica: Instituto Português de Qualidade (IPQ), 2009. 88 p.

DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY. **UAVs**. 2019. Disponível em: <<https://www.darpa.mil/about-us/timeline/amber-predator-golden-hawk-predator>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

DJI. **Inspire 2**. Disponível em: <<https://www.dji.com/pt/inspire-2?site=brandsite&from=nav>>. Acesso em 18 mar. 2019.

ELLENBERG, A. *et al.* **Bridge related damage quantification using unmanned aerial vehicle imagery. Structural Control And Health Monitoring**. [S.l.], p. 1168-1179. 20 jan. 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/stc.1831>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

FEDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Management, maintance and strengthening of concrete structures***Circulation Research*. Lausanne: Sprint-Digital-Druck Stuttgart, 2002.

GLENN, Ian. **ING Robotic Aviation Uses Responder UAS for Turbine Blade Inspections**. *Inside Unmanned Systems*, 2015. Disponível em: <<http://insideunmannedsystems.com/ing-robotic-aviation-uses-responder-uas-for-turbine-blade-inspections/>>. Acesso em 16 abr. 2019.

GODINHO, Mariana da S. *et al.* **Classificação de refrigerantes através de análise de imagens e análise de componentes principais (PCA)**. *Química Nova*, São Paulo, v. 31, p.1485-1489, 26 ago. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000600039>. Acesso em: 29 abr. 2019.

GOOGLE LLC. **Google Earth**. Versão 7.3.2.5776. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em 12 mai. 2019.

HARVEY, Phill. **ExifTool**. Versão 11.70. Disponível em: <<https://www.sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool/>>. Acesos em 12 out. 2019.

HILTI. **PS 250 SISTEMA FERROSCAN**. 2019. Disponível em:

<https://www.hilti.com.br/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r41791>.

Acesso em 16 abr. 2019.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA AERONÁUTICA REMOTAMENTE CONTROLADA. **História dos drones: como**

surgiram? Para que servem?. 2018. Disponível em: <<https://itarc.org/historia-dos-drones/>>. Acesso em:

16 abr. 2019.

J ROMA, Lda. **Sistemas de Monitorização de fissuras e deslocamentos**. 2018. Disponível em:

<<https://www.jroma.pt/fissuras-e-deslocamentos.html#>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

JORDAN, Sophie *et al.* **State-of-the-art technologies for UAV inspections**. *The Institution Of Engineering And Technology*. [S.l.], p. 151-164. 2018. Disponível em:

<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8281313>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

KNEIPP, Rafaela Barros. **O estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore**. 2018.

78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023699.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

LI, Lixin. **The UAV intelligent inspection of transmission lines**. *Zhengzhou: International conference on advances in mechanical engineering and industrial informatics*, 2015. 4 f. Disponível em:

<<https://www.atlantis-press.com/proceedings/ameii-15/21957>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

MARCHANT, Sarah. **Detail of yellow crustose lichen growing on concrete**. 2014. Disponível em:

<https://pt.123rf.com/profile_sarahdoow?page=1&word=26649409&srch_lang=pt&reverse_search_mobile=&mediapopup=26649409>. Acesso em: 25 mai. 2019.

MATHWORKS, INC. **MATLAB**. Versão R2019a. Massachusetts. 2019. Disponível em:

<<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Acesso em 12 mai. 2019.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **ICA 100-40**. 2019. Disponível em:

<<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4944>>. Acesso em 16 abr. 2019.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Perguntas Frequentes**. 2019. Disponível em: <

<https://www.defesa.gov.br/aerolevantamento/perguntas-frequentes-cartografia-e-aerolevantamento>>.

Acesso em: 22 abr. 2019.

OMAR, Tarek; NEHDI, Moncef L.. **Remote sensing of concrete bridge decks using unmanned aerial**

vehicle infrared thermography. *Automation In Construction*. [S.l.], p. 360-371. 26 jul. 2017. Disponível

em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517301139>>. Acesso em: 19 mar.

2019.

PARENTE, D. Cardoso; FELIX, N. Carvalho; PICANÇO, A. Pessoa. **Utilização de veículo aéreo não tripulado (UAV) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico**. Mérida: Revista de La Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción, v. 7, 2017. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4276/427651116003.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

PAULA, Victor Magno Gomes. **BQM-1BR: O VANT á jato brasileiro**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, [20--?]. 3 p. Disponível em: <<http://www.ecsbdefesa.com.br/defesa/fts/BQM1BR.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PECHARROMÁN, José María Peral; VEIGA, Ricardo. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. 2017. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

PEREIRA, Fábio Celestino. **Análise de Desempenho de Algoritmos para Auxílio ao Reconhecimento de Fissuras em Fachadas com Revestimento de Argamassa Visando Sua Embarcação em VANTs**. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/117774>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

PIX4D. **PIX4Dmapper**. Versão 4.4.10. Prilly. 2019. Disponível em: <<https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>>. Acesso em 12 mai. 2019.

PIX4D. **Step 1. Before Starting a Project > 1. Designing the Image Acquisition Plan > a. Selecting the Image Acquisition Plan Type**. 2018. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type#label4>>. Acesso em 18 mar. 2019.

POPESCU, Sorin C. **Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airborne Lidar Measurements**. 2002. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Phd, Virginia Tech, Blacksburg, 2002. Disponível em: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/27109/SorinPopescu_Dissertation.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 mar. 2019.

PREGLER, Art. **How We're Using Drones to Make Cell Tower Inspections Safer**. 2017. Disponível em: <https://policyforum.att.com/wp-content/uploads/2018/01/A04_03_Cell-Tower-Drone-Inspection_D9.pdf>. Acesso em 18 mar. 2019.

PROCEQ. **Esclerômetros Schmidt para ensaios em concreto e rochas**. 2019. Disponível em: <<https://www.proceq.com/pt/compare/schmidt-esclerometros/>>. Acesso em 21 abr. 2019.

- RAKHA, Tarek; GORODETSKY, Alice. **Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones.** *Automation in Construction*. [S.l], p. 252-264. 25 maio 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518300165>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- RANGEL, Rodrigo Kuntz; KIENITZ, Karl Heinz; BRANDÃO, Mauricio Pazini. **Sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando veículos aéreos não-tripulados.** São José dos Campos: brazilian symposium on aerospace eng. & applications, 2009. 9 f. Disponível em: <<http://www.cta-dlr2009.ita.br/Proceedings/PDF/59018.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- ROCA, D. et al. **Lidar-Equipped UAV For Building Information Modelling.** Roca. Riva del Garda: ISPRS technical commission v symposium, 2014. 5 p. Disponível em: <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5/523/2014/>>. Acesso em: 9 mar. 2019.
- RODRIGUES, Carlos Filipe Guedes. **01 – Inspeção de estruturas:** Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019a. 13 slides, color.
- RODRIGUES, Carlos Filipe Guedes. **02 – Inspeção de estruturas:** Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019b. 22 slides, color.
- RODRIGUES, Carlos Filipe Guedes. **05 – Ensaios de diagnóstico:** Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019c. 28 slides, color.
- SARKIS, Paulo Jorge; SARKIS, Jorge Martins. **Uso de Drone em Inspeção e Definição de Recuperação em OAEs.** Rio de Janeiro: X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2016. p.10 f. Disponível em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2016/59.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- SEO, Junwon; DUQUE, Luis; WACKER, Jim. **Drone-enabled bridge inspection methodology and application.** *Automation in Construction*. [S.l]., p. 112-126. 29 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517309755>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- SILVA, Raimundo Mendes da; TORRES, Isabel. **O contributo dos movimentos naturais dos materiais constituintes das alvenarias na fissuração das paredes.** Coimbra: Faculdades de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2016. 1 p. Disponível em: <http://www.uc.pt/fctuc/dec/imagensedocumentos/ano2016/academicos/temas_teses_2015_2016>. Acesso em: 16 abr. 2019.
- SPYBUILDING. **Tipos de ensaios.** 2011. Disponível em: <<http://www.spybuilding.com/index.php?id1=3&id2=1>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

THE CONSTRUCTOR – CIVIL ENGINEERING HOME. **Equipment for Non-Destructive Testing of Concrete**. 2018a. Disponível em: <<https://theconstructor.org/construction/ndt-testing-equipments-for-concrete-strength/9327/>>. Acesso em 16. abr. 2019.

THE CONSTRUCTOR – CIVIL ENGINEERING HOME. **Pullout Tests On Hardened Concrete**. 2018b. Disponível em: <<https://theconstructor.org/concrete/pullout-lok-capo-test-hardened-concrete/2861/>>. Acesso em 16. abr. 2019.

TRESUNO. **Eflorescência no concreto aparente [patologia]**. Disponível em: <<https://tresuno.com.br/post/eflorescencia-no-concreto-aparente-patologia/>>. Acesso em 12 out. 2019.

TUDEVDAGVA, Uranchimeg; BATTSEREN, Batbayar; HARDT, Wolfram. **Unmanned Aerial Vehicle Based Automated Inspection System for High Voltage Transmission Lines**. Chemnitz. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315642149_Unmanned_Aerial_Vehicle_Based_Automated_Inspection_System_for_High_Voltage_Transmission_Lines>. Acesso em: 19 mar. 2019.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Problemas causados pela lixiviação do concreto**. 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/>>. Acesso em 12 out. 2019.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Problemas com fissuras em paredes e pisos de concreto?**. 2018. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/fissuras-em-paredes-e-pisos-de-concreto/>>. Acesso em 25 mai. 2019.

ANEXO I – ALGORITMO PARA DETEÇÃO DE LÍQUENS

```
clear, clc, close all;
srcFile = dir('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\*.jpg');
for i = 1:length(srcFile)
    filename = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\', srcFile(i).name);
    %Leitura da imagem
    img1 = imread(filename);
    %Exibição da imagem original
    %figure(1); imshow(img1); title('Imagem original');
    %Aplicação de contraste
    img2 = histeq(img1);
    %Exibição da imagem contrastada
    %figure(2); imshow(img2); title('Imagem contrastada');
    %Aplicação do filtro para detecção de líquens na imagem original
    img3 = detecLiquens(img1);
    %Exibição da imagem original filtrada
    %figure(3); imshow(img3); title('Imagem original filtrada');
    %Aplicação do filtro para detecção de líquens na imagem contrastada
    img4 = detecLiquens(img2);
    %Exibição da imagem contrastada filtrada
    %figure(4); imshow(img4); title('Imagem contrastada filtrada');
    %Soma das imagens filtradas
    img5 = img3 + img4;
    %Exibição da imagem final filtrada
    %figure(5); imshow(img5); title('Imagem final filtrada');
    %Pintura da anomalia de amarelo
    img6 = imoverlay(img1, img5, 'yellow');
    %Exibição da imagem final filtrada com anomalia evidenciada
    %figure(6); imshow(img6); title('Imagem da anomalia evidenciada')
    path = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Filtradas_Liquens\', srcFile(i).name);
    imwrite(img6, path);
end
-----
function [BW,maskedRGBImage] = createMask( RGB)
%createMask Threshold RGB image using auto-generated code from
colorThresholder app.
% [BW,MASKEDRGBIMAGE] = createMask( RGB) thresholds image RGB using
% auto-generated code from the colorThresholder app. The colorspace and
% range for each channel of the colorspace were set within the app. The
% segmentation mask is returned in BW, and a composite of the mask and
% original RGB images is returned in maskedRGBImage.

% Auto-generated by colorThresholder app on 14-May-2019
%-----

% Convert RGB image to chosen color space
I = RGB;
```

Algoritmo para Detecção de Líquens

```
% Define thresholds for channel 1 based on histogram settings
channel1Min = 0.000;
channel1Max = 255.000;

% Define thresholds for channel 2 based on histogram settings
channel2Min = 0.000;
channel2Max = 255.000;

% Define thresholds for channel 3 based on histogram settings
channel3Min = 0.000;
channel3Max = 0.000;

% Create mask based on chosen histogram thresholds
sliderBW = (I(:,:,1) >= channel1Min ) & (I(:,:,1) <= channel1Max) & ...
    (I(:,:,2) >= channel2Min ) & (I(:,:,2) <= channel2Max) & ...
    (I(:,:,3) >= channel3Min ) & (I(:,:,3) <= channel3Max);
BW = sliderBW;

% Initialize output masked image based on input image.
maskedRGBImage = RGB;

% Set background pixels where BW is false to zero.
maskedRGBImage(repmat(~BW,[1 1 3])) = 0;

end
```

ANEXO II – ALGORITMO PARA DETEÇÃO DE FISSURAS

```
clear, clc, close all;
srcFile = dir('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\*.jpg');
for i = 1:length(srcFile)
    filename = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\', srcFile(i).name);
    %Leitura da imagem
    img1 = imread(filename);
    %Exibição da imagem original
    %figure(1); imshow(img1); title('Imagem original');
    %Tranformação da imagem RGB para escala de cinza
    img_gray = rgb2gray(img1);
    %Exibição da imagem em escala de cinza
    %figure(2); imshow(img_gray); title('Imagem em escala de cinza');
    %Conversão de imagem para precisão double
    I = im2double(img_gray);
    %Aplicação do filtro de gradiente
    [Gmag, Gdir] = imgradient(I, 'prewitt');
    %Exibição do gradiente da imagem
    img2 = Gmag;
    %figure(3); imshow(Gmag), title('Gradiente da imagem');
    %Detecção das bordas com método de Canny, e fator limiar com método de
    %Otsu
    Limiar = graythresh(img2);
    img3 = edge(img2, 'canny', Limiar);
    %Exibição da imagem com bordas detetadas
    %figure(4); imshow(img3); title('Imagem com bordas detetadas');
    %Dilatação da imagem
    SED = strel('square', 8);
    img_dilat = imdilate(img3, SED);
    %Exibição da imagem dilatada
    %figure(5); imshow(img_dilat); title('Imagem dilatada');
    %Preenchimento da imagem dilatada
    img_filledholes = imfill(imcomplement(img_dilat), 'holes');
    %Exibição da imagem preenchida
    %figure(6); imshow(imcomplement(img_filledholes)); title('Imagem com
preenchimento da fissuras');
    %Processo de erosão da imagem
    SEE = strel('square', 8);
    img_erode = imerode(imcomplement(img_filledholes), SEE);
    %Exibição da imagem erodida
    %figure(7); imshow(img_erode); title('Imagem erodida');
    %Limpeza da imagem
    img_clean = img_erode - imclearborder(img_erode);
    %Pintura da anomalia de vermelho
    img4 = imoverlay(img1, img_clean, 'red');
    %Exibição da imagem final filtrada com anomalia evidenciada
    %figure(8); imshow(img4); title('Imagem da anomalia evidenciada');
    path = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Filtradas_Fissuras\', srcFile(i).name);
```

Algoritmo para Detecção de Fissuras

```
    imwrite(img4, path);  
end
```

ANEXO III – ALGORITMO PARA DETEÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS

```
clear, clc, close all;
srcFile = dir('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\*.jpg');
for i = 1:length(srcFile)
    filename = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\', srcFile(i).name);
    %Leitura da imagem
    img1 = imread(filename);
    %Exibição da imagem original
    %figure(1); imshow(img1); title('Imagem original');
    %Aplicação de contraste
    img2 = histeq(img1);
    %Exibição da imagem contrastada
    %figure(2); imshow(img2); title('Imagem contrastada');
    %Aplicação do filtro para detecção de líquens na imagem original
    img3 = detecEflorescencia(img1);
    %Exibição da imagem original filtrada
    %figure(3); imshow(img3); title('Imagem original filtrada');
    %Aplicação do filtro para detecção de líquens na imagem contrastada
    img4 = detecEflorescencia(img2);
    %Exibição da imagem contrastada filtrada
    %figure(4); imshow(img4); title('Imagem contrastada filtrada');
    %Soma das imagens filtradas
    img5 = img3 + img4;
    %Exibição da imagem final filtrada
    %figure(5); imshow(img5); title('Imagem final filtrada');
    %Pintura da anomalia de vermelho
    img6 = imoverlay(img1, img5, 'red');
    %Exibição da imagem final filtrada com anomalia evidenciada
    %figure(6); imshow(img6); title('Imagem da anomalia evidenciada');
    path = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Filtradas_Eflorescencias\', srcFile(i).name);
    imwrite(img6, path);
end
```

```
-----
function [BW,maskedRGBImage] = createMask( RGB)
%createMask Threshold RGB image using auto-generated code from
colorThresholder app.
% [BW,MASKEDRGBIMAGE] = createMask( RGB) thresholds image RGB using
% auto-generated code from the colorThresholder app. The colorspace and
% range for each channel of the colorspace were set within the app. The
% segmentation mask is returned in BW, and a composite of the mask and
% original RGB images is returned in maskedRGBImage.

% Auto-generated by colorThresholder app on 19-Aug-2019
%-----

% Convert RGB image to chosen color space
```

Algoritmo para Detecção de Eflorescências

```
I = RGB;

% Define thresholds for channel 1 based on histogram settings
channel1Min = 200.000;
channel1Max = 255.000;

% Define thresholds for channel 2 based on histogram settings
channel2Min = 200.000;
channel2Max = 255.000;

% Define thresholds for channel 3 based on histogram settings
channel3Min = 200.000;
channel3Max = 255.000;

% Create mask based on chosen histogram thresholds
sliderBW = (I(:,:,1) >= channel1Min ) & (I(:,:,1) <= channel1Max) & ...
    (I(:,:,2) >= channel2Min ) & (I(:,:,2) <= channel2Max) & ...
    (I(:,:,3) >= channel3Min ) & (I(:,:,3) <= channel3Max);
BW = sliderBW;

% Initialize output masked image based on input image.
maskedRGBImage = RGB;

% Set background pixels where BW is false to zero.
maskedRGBImage(repmat(~BW,[1 1 3])) = 0;

end
```

ANEXO IV – ALGORITMO PARA DETEÇÃO DE ARMADURA EXPOSTA

CORROÍDA

```
clear, clc, close all;
srcFile = dir('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\*.jpg');
for i = 1:length(srcFile)
    filename = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Fotos_Originais\', srcFile(i).name);
    %Leitura da imagem
    img1 = imread(filename);
    %Exibição da imagem original
    %figure(1); imshow(img1); title('Imagem original');
    %Aumento do brilho (ajustar conforme necessidade)
    img2 = img1 + 150;
    %Exibição da imagem com brilho aumentado
    %figure(2); imshow(img2); title('Imagem com brilho aumentado');
    %Separação da imagem por banda R/G/B
    [R,G,B] = imsplit(img2);
    %Exibição da imagem banda R
    %figure(3); imshow(R); title('Imagem R');
    %Exibição da imagem banda G
    %figure(3); imshow(G); title('Imagem G');
    %Exibição da imagem banda B
    %figure(5); imshow(B); title('Imagem B');
    %Conversão de imagem para precisão double
    img3 = im2double(G);
    %Aplicação do filtro de gradiente
    [Gmag, Gdir] = imgradient(img3,'prewitt');
    %Exibição da imagem gradiente
    %figure(4); imshow(Gmag); title('Imagem gradiente');
    %Limpeza da imagem gradient
    img4 = bwareaopen(Gmag, 2000);
    %figure(5); imshow(img4); title('Imagem gradiente limpa');
    img5 = imoverlay(img1, img4, 'red');
    %figure(6); imshow(img5); title('Imagem final');
    path = strcat('C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos
Torre\Processamento\Filtradas_Varoes\', srcFile(i).name);
    imwrite(img5, path);
end
```


ANEXO V – ALGORITMO PARA CÓPIA DO EXIF

Da imagem 0 até 9:

```
for /L %i IN (1 1 9) DO "C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos  
Torre\exiftool-11.54\exiftool.exe" -tagsFromFile "C:\Users\Anderson  
Kyn\Desktop\TMV\000%i.jpg" "C:\Users\Anderson Kyn\Desktop\TMV\Filtradas  
Liquens\000%i.jpg"
```

Da imagem 10 até 99:

```
for /L %i IN (10 1 99) DO "C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos  
Torre\exiftool-11.54\exiftool.exe" -tagsFromFile "C:\Users\Anderson  
Kyn\Desktop\TMV\00%i.jpg" "C:\Users\Anderson Kyn\Desktop\TMV\Filtradas  
Liquens\00%i.jpg"
```

Da imagem 100 até 999:

```
for /L %i IN (100 1 999) DO "C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos  
Torre\exiftool-11.54\exiftool.exe" -tagsFromFile "C:\Users\Anderson  
Kyn\Desktop\TMV\0%i.jpg" "C:\Users\Anderson Kyn\Desktop\TMV\Filtradas  
Liquens\0%i.jpg"
```

Da imagem 1000 em diante:

```
for /L %i IN (1000 1 2886) DO "C:\Users\Anderson Kyn\Documents\ISEP\DIPRE\Fotos  
Torre\exiftool-11.54\exiftool.exe" -tagsFromFile "C:\Users\Anderson  
Kyn\Desktop\TMV\%i.jpg" "C:\Users\Anderson Kyn\Desktop\TMV\Filtradas  
Liquens\%i.jpg"
```


ANEXO VI – FICHAS DE INSPEÇÃO

FICHA DE INSPEÇÃO 01



OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO NORTE	
Foto da anomalia	Descrição	
<div style="border: 1px solid green; padding: 2px; display: inline-block;">P1</div> 	<p>Regista-se a presença de líquens (A20) detetados pela função <code>deteLiquens.m</code> do <i>software</i> MATLAB, evicenciados por pontos vermelhos. Através dela, conclui-se que os líquens possuem coloração amarela, e apresentam-se de forma generalizada pela superfície da estrutura. Em consequência à existência de líquens, é possível também notar rugosidade no betão (A13). As possíveis causas para a proliferação de líquens é a presença de humidade (C7) e exposição ao tempo (C11) constantes, juntos à porosidade do betão (C29) que permite a penetração de tais agentes biológicos na superfície da estrutura, possibilitando assim a sua colonização. As possíveis causas para a existência de um betão rugoso são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15).</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 01







OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL		ALÇADO NORTE	
Foto da anomalia		Descrição	
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">P2</div> 	<p>Regista-se a presença de eflorescências (A7) na estrutura. As eflorescências apresentam-se na cor branca, de forma generalizada pelo elemento estrutural. As possíveis causas para esta anomalia são descalcificação do betão (C3) ou reação álcalis-sílica (C24).</p>		
<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">P3</div> 	<p>Verifica-se a presença de junta de betonagem (A23) na estrutura, orientada na direção horizontal, evidenciada por linha horizontal divisória de betões de cores diferentes. As possíveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou grande volume de betão (C30), caracterizando a betonagem por etapas que possuem duração em dias diferentes.</p>		

FICHA DE INSPEÇÃO 01

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO NORTE	
Foto da anomalia	Descrição	
<p>P4</p> 	<p>Observa-se a ocorrência de desalinhamento da estrutura (A18), através de juntas de cofragem, que ocorrem de forma generalizada por toda a superfície da estrutura. O desalinhamento apresenta-se na direção vertical, evidenciados por linhas verticais. A possível causa para esta anomalia é a má execução das cofragens (C1).</p>	
<p>P5</p> 	<p>Regista-se a ocorrência de armadura exposta (A4), corrosão da armadura (A5) e furo para instalação de equipamentos (A21). Todas estas anomalias ocorrem de forma pontual. A armadura exposta possui como provável causa a falta de recobrimento (C9). As possíveis causas para a armadura corroída são a exposição ao tempo (C11) e/ou carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6). A abertura na superfície da estrutura possui como possível causa a má execução das cofragens (C1), sendo esta abertura caracterizada pela passagem do elemento de travamento das cofragens.</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 01							
OBRA	Torre do Monte da Virgem					INSPECTOR	
DONO	Altice					ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30		TEMPO	21°C/8°C	
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal						
ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO NORTE						
Foto da anomalia				Descrição			
<div style="border: 1px solid pink; padding: 2px; display: inline-block;">P6</div> 				<p>Verifica-se a existência de manchas de humidade (A8). As manchas ocorrem de maneira pontual. As possíveis causas para a ocorrência de manchas de humidade são humidade (C7) constante, confirmada pela colonização de líquens.</p>			
<div style="border: 1px solid purple; padding: 2px; display: inline-block;">P7</div> 				<p>Observa-se a existência de delaminação (A3), corrosão da armadura (A5), e eflorescência (A7). A delaminação do betão ocorre pontualmente. A eflorescência também é pontual e apresenta coloração branca e levemente acastanhada próxima ao perímetro da delaminação. A possível causa para a delaminação do betão é corrosão da armadura (C4), enquanto as eflorescências são ocasionadas por descalcificação do betão (C3) e/ou reação álcalis-silica (C24). A cor acastanhada da eflorescência confirma existência da armadura corroída, ocasionada pela carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6).</p>			
RESUMO DE ANOMALIAS:		A3; A4; A5; A7; A8; A13; A18; A20; A21; A23					
ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
Elemento Estrutural	N	D	E	F	C	EC	ALERTA
ALÇADO NORTE	0	1	1	0	1	3	-

FICHA DE INSPEÇÃO 02

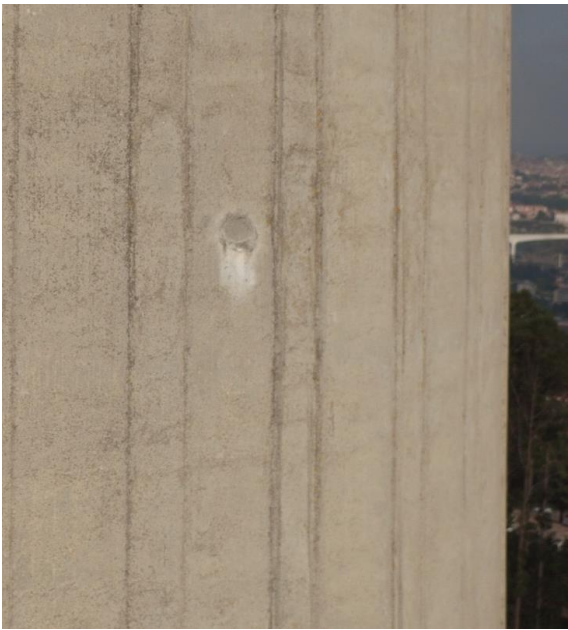



OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO SUL	
Foto da anomalia	Descrição	
	<p>Verifica-se a ocorrência de líquens (A20) detetados pela função <code>detecLiquens.m</code> do <i>software</i> MATLAB, evidenciados por pontos vermelhos. Através dela, conclui-se que os líquens possuem coloração amarela, e apresentam-se de forma generalizada pela superfície da estrutura. Em consequência à existência de líquens, é possível também notar rugosidade no betão (A13). As possíveis causas para a proliferação de líquens é a presença de humidade (C7) e exposição ao tempo (C11) constantes, juntos à porosidade do betão (C29) que permite a penetração de tais agentes biológicos na superfície da estrutura, possibilitando assim a sua colonização. As possíveis causas para a existência de um betão rugoso são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15).</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 02

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO SUL	
Foto da anomalia	Descrição	
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">P2</div> 	<p>Regista-se a existência de delaminação (A3), corrosão da armadura (A5) e eflorescência (A7). A delaminação do betão ocorre de forma pontual. A eflorescência também é pontual e apresenta coloração branca e acastanhada no cotorno do betão delaminado. A possível causa para a delaminação do betão é corrosão da armadura (C4). A possíveis causas para as eflorescências são descalcificação do betão (C3) e/ou reação álcalis-sílica (C24). A coloração acastanha das eflorescências confirmam a existência de armadura corroída, causada por carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6).</p>	
<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;">P3</div> 	<p>Observa-se a ocorrência furo para instalação de equipamentos (A21). A anomalia ocorre de forma pontual. O furo na superfície da estrutura possui como possível causa a má execução das cofragens (C1), sendo esta abertura caracterizada pela passagem do elemento de travamento das cofragens.</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 02



OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL		ALÇADO SUL					
Foto da anomalia		Descrição					
P4		<p>Verifica-se a ocorrência de desalinhamento da estrutura (A18), através de juntas de cofragem, que ocorrem de forma generalizada por toda a superfície da estrutura. O desalinhamento está sob direção vertical, evidenciados por linhas verticais. As possíveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2).</p>					
P5		<p>Regista-se a ocorrência de junta de betonagem (A23) na estrutura, sob direção horizontal, evidenciada por linha horizontal divisória de betões de cores diferentes. As possíveis causas para esta anomalia é a má execução das cofragens (C1) e/ou grande volume de betão (C30), caracterizando a betonagem por etapas que possuem duração em dias diferentes.</p>					

RESUMO DE ANOMALIAS:	A3; A5; A7; A13; A18; A20; A21; A23					
-----------------------------	-------------------------------------	--	--	--	--	--

ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
Elemento Estrutural	N	D	E	F	C	EC	ALERTA
ALÇADO SUL	0	1	1	0	1	3	-

FICHA DE INSPEÇÃO 03



OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPECTOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

VISTA GERAL	ALÇADO LESTE
--------------------	---------------------



FICHA DE INSPEÇÃO 03

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPECTOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO LESTE	
Foto da anomalia	Descrição	
<div style="border: 1px solid green; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">P1</div> 	<p>Regista-se a presença de líquens (A20) detetados pela função <code>detectLiquens.m</code> do <i>software</i> MATLAB, evicenciados por pontos vermelhos. Através dela, conclui-se que os líquens possuem coloração amarela, e apresentam-se de forma generalizada pela superfície da estrutura. Em consequência à existência de líquens, é possível também notar rugosidade no betão (A13). As possíveis causas para a proliferação de líquens é a presença de humidade (C7) e exposição ao tempo (C11) constantes, juntos à porosidade do concreto (C29) que permite a penetração de tais agentes biológicos na superfície da estrutura, possibilitando assim a sua colonização. As possíveis causas para a existência de um betão rugoso são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15).</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 03

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO LESTE	
Foto da anomalia	Descrição	
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">P2</div> 	<p>Verifica-se a existência de junta de betonagem (A23) na estrutura, orientada na sob direção horizontal, evidenciada por linha divisória de betões de cores diferentes. As possíveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou grande volume de betão (C30), caracterizando a betonagem por etapas que possuem duração em dias diferentes.</p>	
<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;">P3</div> 	<p>Observa-se a ocorrência de desalinhamento da estrutura (A18), através de juntas de cofragem, que ocorrem de forma generalizada por toda a superfície da estrutura. O desalinhamento apresenta-se na direção vertical, evidenciado por linhas verticais. As prováveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2).</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 03

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPECTOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL		ALÇADO LESTE
Foto da anomalia		Descrição
<div style="border: 1px solid yellow; padding: 2px; display: inline-block;">P4</div> 	<p>Regista-se a existência de armadura exposta (A4), armadura corroída (A5), e furo para instalação de equipamentos (A21), todas estas anomalias ocorrendo de maneira pontual. A abertura na superfície da estrutura possui como possível causa a má execução das cofragens (C1), sendo esta abertura caracterizada pela passagem do elemento de travamento das cofragens. A armadura exposta possui como provável causa a falta da camada de betão de recobrimento (C9). As possíveis causas para a armadura corroída são a exposição ao tempo (C11) e/ou carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6).</p>	
<div style="border: 1px solid orange; padding: 2px; display: inline-block;">P5</div> 	<p>Verifica-se a existência de delaminação (A3), corrosão da armadura (A5), e eflorescência (A7). Adelaminação do betão ocorre pontualmente. A eflorescência também é pontual e apresenta coloração branca e levemente acastanhada próxima ao perímetro da delaminação. A possível causa para a delaminação do betão é corrosão da armadura (C4), enquanto as eflorescências são ocasionadas por descalcificação do betão (C3) ou reação álcalis-sílica (C24). A cor acastanhada da eflorescência confirma existência da armadura corroída, ocasionada pela carbonatação (C5) e/ou penetração de cloretos (C6).</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 03

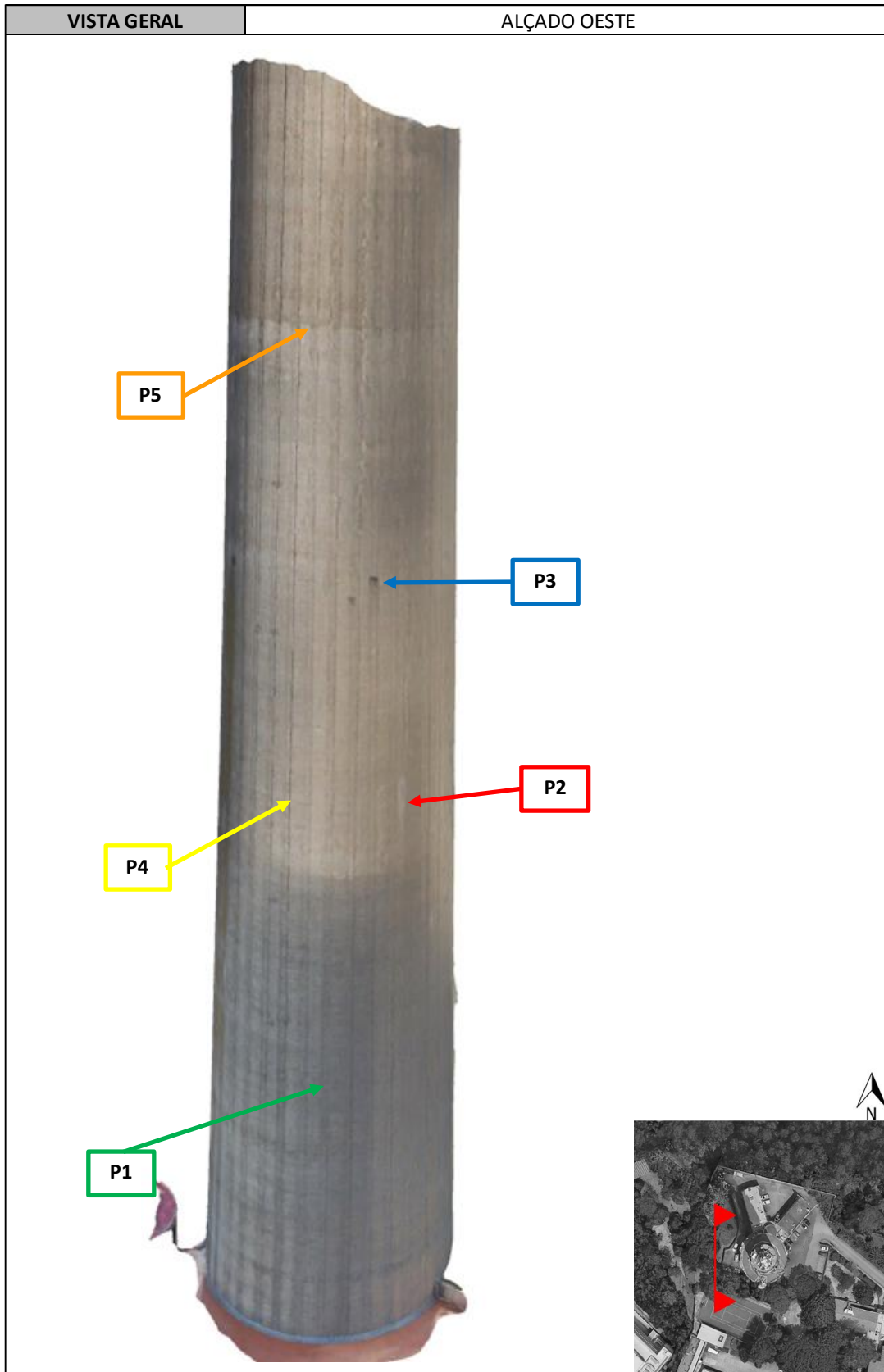
OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL		ALÇADO LESTE					
Foto da anomalia		Descrição					
<p>P6</p> 		<p>Verifica-se a ocorrência de rugosidade no betão (A13) e furo para instalação de equipamentos (A21). Estas anomalias são encontradas pontualmente. As possíveis causas para um betão rugoso são má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15). Os furos na superfície da estrutura são ocasionados pela má execução das cofragens (C1), sendo estes furos utilizados para a passagem de algum elemento trava das cofragens.</p>					
RESUMO DE ANOMALIAS:		A3; A4; A5; A7; A13; A18; A20; A21; A23					
ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
Elemento Estrutural	N	D	E	F	C	EC	ALERTA
ALÇADO LESTE	0	1	1	0	1	3	-

FICHA DE INSPEÇÃO 04



OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPECTOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				



FICHA DE INSPEÇÃO 04





OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO OESTE	
Foto da anomalia	Descrição	
	<p>Regista-se a existência de líquens (A20) detetados pela função <code>detecLiquens.m</code> do <i>software</i> MATLAB, evicenciados por pontos vermelhos. Através dela, conclui-se que os líquens possuem coloração amarela, e apresentam-se de forma generalizada pela superfície da estrutura. Em consequência à existência de líquens, é possível também notar rugosidade no betão (A13). As possíveis causas para a proliferação de líquens é a presença de humidade (C7) e exposição ao tempo (C11) constantes, juntos à porosidade do betão (C29) que permite a penetração de tais agentes biológicos na superfície da estrutura, possibilitando assim a sua colonização. As possíveis causas para a existência de um betão rugoso são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2) e/ou erosão (C15).</p>	

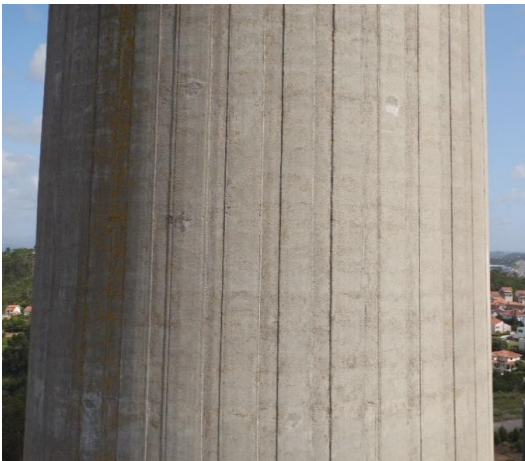
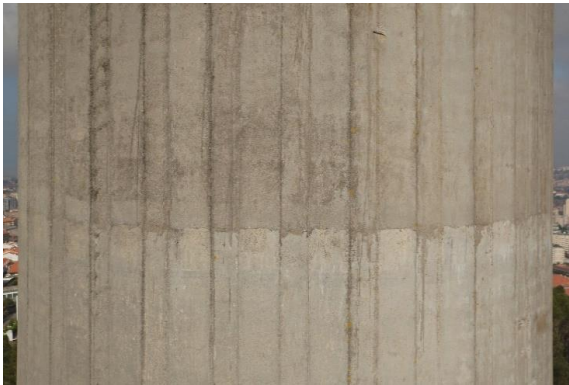
FICHA DE INSPEÇÃO 04

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPECTOR	
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI	
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal				

ELEMENTO ESTRUTURAL	ALÇADO OESTE	
Foto da anomalia	Descrição	
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">P2</div> 	<p>Observa-se a ocorrência de eflorescências (A7) na estrutura. As eflorescências apresentam-se na cor branca, de forma generalizada pelo elemento estrutural. As possíveis causas para esta anomalia são descalcificação do betão (C3) ou reação álcalis-silica (C24).</p>	
<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">P3</div> 	<p>Verificar-se a existência de furo para instalação de equipamentos (A21). Esta anomalia ocorre de forma pontual. A abertura na superfície da estrutura possui como possível causa a má execução das cofragens (C1), sendo esta abertura caracterizada pela passagem do elemento de travamento das cofragens.</p>	

FICHA DE INSPEÇÃO 04

OBRA	Torre do Monte da Virgem			INSPETOR			
DONO	Altice			ANDERSON SHIBASAKI			
DATA	VIDE RELATÓRIO	HORA	11:30	TEMPO	21°C/8°C		
LOCALIZAÇÃO	Rua Conceição Fernandes, 755 - Vila Nova de Gaia, Portugal						

ELEMENTO ESTRUTURAL		ALÇADO OESTE					
Foto da anomalia		Descrição					
<p>P4</p> 		<p>Regista-se a existência de desalinhamento da estrutura (A18), através de juntas de cofragem, que ocorrem de forma generalizada por toda a superfície da estrutura. O desalinhamento apresenta-se na direção vertical, evidenciados por linhas verticais. As possíveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou má vibração do betão (C2).</p>					
<p>P5</p> 		<p>Observa-se a presença de junta de betonagem (A23) na estrutura, orientada na direção horizontal, evidenciada por linha divisória de betões de cores diferentes. As possíveis causas para esta anomalia são a má execução das cofragens (C1) e/ou grande volume de betão (C30), caracterizando a betonagem por etapas que possuem duração em dias diferentes.</p>					
RESUMO DE ANOMALIAS:		A7; A13; A18; A20; A21; A23					
ESTADO DE CONSERVAÇÃO							
Elemento Estrutural	N	D	E	F	C	EC	ALERTA
ALÇADO OESTE	0	1	1	0	1	3	-