



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

RAMIRO DANIEL BALLESTEROS RUIZ

INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS DE FACHADAS UTILIZANDO VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT): ESTUDO EXPLORATÓRIO

Recife - Brasil
2020



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

RAMIRO DANIEL BALLESTEROS RUIZ

INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS DE FACHADAS UTILIZANDO VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT): ESTUDO EXPLORATÓRIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Livre-Docente Alberto Casado
Lordsleem Jr.

Recife - Brasil
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

B191i Ballesteros Ruiz, Ramiro Daniel
Inspeção de manifestações patológicas de fachadas
utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT): estudo
exploratório. / Ramiro Daniel Ballesteros Ruiz. – Recife:
UPE, Escola Politécnica, 2020.

219 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade
de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, 2020.

1. Inspeção Fachadas - Revestimento Cerâmico. 2.
Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT. 3. Manifestações
Patológicas. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Lordsleem
Júnior, Alberto Casado (orient.). III. Universidade de
Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção
Civil. IV. Título.

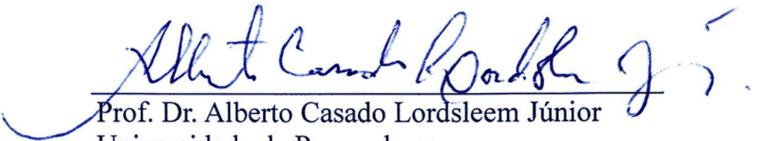
CDD: 690

RAMIRO DANIEL BALLESTEROS RUIZ

**INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS DE FACHADAS UTILIZANDO VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT): ESTUDO EXPLORATÓRIO**

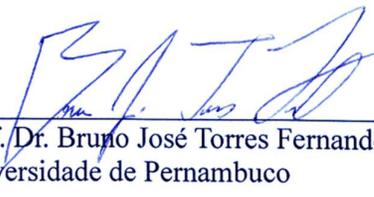
BANCA EXAMINADORA

Orientador(a)


Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior
Universidade de Pernambuco

Examinadores


Prof. Dra. Yêda Vieira Póvoas
Universidade de Pernambuco


Prof. Dr. Bruno José Torres Fernandes
Universidade de Pernambuco

Recife, PE
2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais Ramiro Israel Ballesteros Paravicini e Irma Yolanda Ruiz Vargas, pelo apoio de sempre, amor, incentivo e por ter me ensinado a lutar e nunca desistir dos meus objetivos.

A minha esposa Daniela Alejandra Mercado Bustillo, companheira da vida, obrigado pelo apoio e incentivo nesta experiência inesquecível, e por estar ao meu lado na constante luta para evolução intelectual e profissional.

Ao Professor Alberto Casado Lordsleem Júnior, pela orientação e avaliação criteriosa, confiança, apoio e ensinamentos repassados durante todos estes anos, sendo imprescindível para a evolução científica do pesquisador e do trabalho.

Aos Professores Yêda Vieira Póvoas e Bruno José Torres Fernandes, pelas valiosas contribuições enriquecedoras na fase de qualificação desta pesquisa.

À Universidade de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC-POLI) pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho, em especial a todos os professores e a Lúcia Rosani, pelo apoio e atenção ao longo dessa jornada.

À Organização de Estados Americanos (OEA) e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) pela oportunidade de poder realizar o mestrado no Brasil.

RESUMO

O mundo passa por uma revolução de ordem abrangente, destacando-se a demanda por inserção tecnológica nos processos industriais, notadamente pela necessidade da otimização do tempo. Em especial, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou “Drones” estão assumindo crescente relevância como novo mecanismo de obtenção de dados e inspeções visuais, mais ágeis e seguros. Este trabalho teve o objetivo de realizar o estudo exploratório do uso de VANT como ferramenta visual para inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edifícios. A metodologia contemplou duas etapas de pesquisa distintas, por um lado, a pesquisa exploratória que abrangeu uma revisão sistemática de artigos científicos considerando as indicações do método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*), e a investigação do panorama atual local do uso de VANT na indústria da construção civil na cidade de Recife-PE; por outro lado, na pesquisa experimental, foram realizados três estudos de caso em edificações de mediana e grande altura, desenvolvendo para esses fins o protocolo de atividades, onde foram contempladas as etapas de planejamento, coleta de imagens e processamento. Assim, os resultados da pesquisa exploratória exibiram evidência satisfatória que enfatiza as diferentes vantagens do uso desta aeronave como ferramenta eficiente e flexível para o levantamento de imagens, revelando que no panorama atual local da construção civil, o uso desta ferramenta ainda exhibe técnicas empíricas para procedimentos de inspeção, corroborando a necessidade de estruturação do serviço. A pesquisa experimental comprovou a viabilidade técnica e eficácia da inspeção, demonstrando que entre os ativos visuais produzidos, as fotografias digitais geradas pela aeronave foram mais efetivas para a detecção de manifestações patológicas, quando comparadas com os modelos gerados pelo software AGISOFT *PhotoScan*. Como principais contribuições, tem-se a formulação das diretrizes para a inspeção de fachadas com uso de VANT, estruturando o procedimento por meio de formulários e checklist que auxiliam nas diferentes etapas do serviço. Adicionalmente, o trabalho contrastou o desempenho dos diferentes ativos visuais produzidos (ortomosaicos, modelos 3D e fotografias digitais), com o intuito da detecção de manifestações patológicas. Os métodos empregados comprovaram que, além da factibilidade legal, a inspeção de manifestações patológicas em fachadas com uso de VANT tem completa viabilidade técnica.

Palavras-Chave: Inspeção Fachadas - Revestimento Cerâmico; Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT; Manifestações Patológicas

ABSTRACT

The demand for technological insertion in industrial processes, notably due to the need for optimization of time is a challenge to the world revolution. In particular, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are assuming increasing relevance as a new mechanism, more agile and secure. This work had the objective of performing the exploratory study of the use of UAV as a visual tool for inspection of pathological manifestations in building facades. The methodology included two different research stages, on the one hand, the exploratory research that included a systematic review of scientific papers considering indications of the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) method, and the investigation of the current local panorama of the use of UAV in the construction industry in the city of Recife-PE; On the other hand, in the experimental research, three case studies were carried out in buildings of medium and high height, developing for these purposes the protocol of activities, where the planning, image collection and processing stages were contemplated. Thus, the results of exploratory research showed satisfactory evidence that emphasizes the different advantages of using this aircraft as an efficient and flexible tool for imaging. revealing in the current local panorama of construction, the use of this tool still shows empirical techniques for inspection procedures, corroborating the need for structuring the service. The experimental study proved the technical feasibility and efficacy of inspection, showing that among the visual assets produced, the digital photographs generated by the aircraft were more effective for the detection of pathologies when compared to the models generated by the AGISOFT PhotoScan software. As main contributions, have formulated the guidelines for the inspection of facades using UAV, structuring the procedure through forms and checklist that assist in the different stages of the service. In addition, the work contrasted the performance of the different visual assets produced (ortomosaic, 3D models and digital photographs), in order to detect pathologies. The methods employed proved that, in addition to the legal feasibility, the inspection of pathological manifestations in facades using UAVs has complete technical feasibility.

Key words: Inspection Ceramic Facades; Unmanned Aerial Vehicles - UAV; Pathological Manifestations

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Profissional do alpinismo industrial.....	26
Figura 2: Tipos de VANT por características aerodinâmicas.....	29
Figura 3: Classificação de VANT pela ANAC	32
Figura 4: Tipos de operação de VANT segundo ANAC.....	37
Figura 5: Princípio da sombra de acordo a ICA 100-40.....	40
Figura 6: Procedimento de captura de imagens para fotogrametria	43
Figura 7: Caso de uso típico para a geometria epipolar	45
Figura 8: Fotografia digital em projeção cônica e ortogonal.....	46
Figura 9: Ortofotos para criação de ortomosaico	47
Figura 10: Exemplo de mapa de danos.....	48
Figura 11: Metodologia da pesquisa.....	50
Figura 12: Fluxograma da seleção dos artigos	55
Figura 13: Protocolo de atividades a realizar	58
Figura 14: Número mínimo de fotografias por fachada	60
Figura 15: Técnica de captura de imagens para uma edificação vista em planta.....	63
Figura 16: Sequência de captura de imagens para cada fachada da edificação.....	64
Figura 17: Posicionamento das tomadas fotográficas de fachadas.....	65
Figura 18: Relação de distâncias para tomada fotográfica	67
Figura 19: Fluxo de trabalho AGISOFT <i>PhotoScan</i>	69
Figura 20: Características computadores usados no estudo experimental	72
Figura 21: Equipamento VANT utilizado	73
Figura 22: Dimensões VANT DJI <i>Phantom 4 Pro V 2.0</i>	74
Figura 23: Classificação de edificações por altura	76
Figura 24: Fotografia aérea estudo de caso A	77
Figura 25: Imagem de satélite localização estudo de caso A	78
Figura 26: Croqui do terreno estudo de caso A	78
Figura 27: Fotografia aérea estudo de caso B	79
Figura 28: Imagem de satélite localização estudo de caso B	80
Figura 29: Croqui do terreno estudo de caso B	80
Figura 30: Fotografia estudo de caso C	82
Figura 31: Imagem de satélite localização estudo de caso C	82

Figura 32: Croqui do térreo estudo de caso C	83
Figura 33: Vantagens e desvantagens do VANT em função ao tipo de asas	91
Figura 34: Características mínimas do equipamento para inspeção visual de fachadas	92
Figura 35: Comparação procedimentos de inspeção visual de fachadas.....	93
Figura 36: Gráficos do tempo e área de atuação das empresas	95
Figura 37: Gráficos de dados do responsável do serviço	96
Figura 38: Gráficos de dados do planejamento de voo	100
Figura 39: VANT empregados nos serviços acompanhados.....	101
Figura 40: Serviço de captura de imagens aéreas.....	102
Figura 41: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso A	106
Figura 42: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso B.....	107
Figura 43: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso C.....	108
Figura 44: Montagem de VANT em campo.....	109
Figura 45: Ilustração da captura de imagens com VANT	110
Figura 46: Sequência de processamento estudo de caso A	115
Figura 47: Sequência de processamento estudo de caso B.....	116
Figura 48: Sequência de processamento estudo de caso C.....	117
Figura 49: Mapa de danos estudo de caso A	120
Figura 50: Mapa de danos estudo de caso B	122
Figura 51: Mapa de danos estudo de caso C	127
Figura 52: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso A	132
Figura 53: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso B.....	132
Figura 54: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso C.....	133
Figura 55: Porcentagens relativos ao tempo de cada etapa do processamento	137
Figura 56: Tempo total para produção de cada ativo visual em minutos	139
Figura 57: Porcentagens da ocorrência de manifestações patológicas nos estudos de caso... 140	
Figura 58: Comparativa de manifestações patológicas visualizadas – tempo de produção ... 141	
Figura 59: Modelo texturizado estudo de caso A.....	142
Figura 60: Diretrizes para a inspeção de manifestações patológicas em fachada	144
Figura 61: Sequência da definição da técnica de captura de imagens.....	147
Figura 62: Sequência de produção de ortomosaicos	150
Figura 63: Sequência de detecção de manifestações patológicas.....	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos.....	23
Quadro 2: Classificação de VANT de acordo à CAA e DOD	30
Quadro 3: Classificação de VANT pela <i>Unmanned Aerial Vehicle Systems Association</i>	31
Quadro 4: Panorama regulatório internacional do uso de VANT	34
Quadro 5: Requisitos da ANAC para VANT Classe 3.....	38
Quadro 6: Condições da DECEA para VANT Classe 3.....	39
Quadro 7: Tipos de aplicação de textura AGISOFT <i>PhotoScan</i>	71
Quadro 8: Informações gerais sobre os estudos realizados	85
Quadro 9: Características de VANT utilizados nos estudos incluídos.....	86
Quadro 10: Características equipamentos incorporados ao VANT nos estudos incluídos	87
Quadro 11: Resultados dos estudos incluídos	88
Quadro 12: Dados gerais das empresas entrevistadas	94
Quadro 13: Dados do responsável do serviço	96
Quadro 14: Dados dos VANT utilizados pelas empresas entrevistadas.....	98
Quadro 15: Dados do planejamento de voo.....	99
Quadro 16: Dados de voos para treinamento (Planilha <i>Flight Log</i>).....	104
Quadro 17: Dados formulário de planejamento dos estudos de caso	105
Quadro 18: Dados dos <i>Checklists</i> da missão com VANT	110
Quadro 19: Dados das planilhas <i>Flight log</i>	111
Quadro 20: Conformação quantitativa dos modelos gerados.....	114
Quadro 21: Manifestações patológicas detectadas por produto	119
Quadro 22: Manifestações patológicas estudo de caso A.....	119
Quadro 23: Manifestações patológicas estudo de caso B.....	121
Quadro 24: Manifestações patológicas estudo de caso C.....	124
Quadro 25: Efeito do vento em função da altura.....	130
Quadro 26: Tempo de processamento AGISOFT <i>PhotoScan</i>	134
Quadro 27: Detalhamento de tempos para produção de cada ativo visual.....	139
Quadro 28: Sequência da coleta de informação e planejamento	145
Quadro 29: Sequência da definição da técnica de captura de imagens	146
Quadro 30: Sequência da definição da técnica de captura de imagens	148

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ASP	<i>American Society of Photogrammetry</i>
BVLOS	<i>Beyond Visual Line of Sight</i>
CAA	<i>Civil Aviation Authority</i>
CAAC	<i>Civil Aviation Administration of China</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASA	<i>Civil Aviation Safety Authority</i>
CAVE	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CTBUH	<i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DIAM	Declaração de Inspeção Anual de Manutenção
DJI	<i>Dà-Jiāng Innovations Science and Technology</i>
DOD	<i>Department Of Defense</i>
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i>
EUA	Estados Unidos de América
EVLOS	<i>Extended Visual Line of Sight</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
HD	<i>High Definition</i>
IBAPE	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
JCAB	<i>Japan Civil Aviation Bureau</i>
MDS	Modelo Digital da Superfície
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
PDI	Processamento Digital de Imagens
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial

RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS	<i>Visual Line of Sight</i>
VMC	<i>Visual Meteorological Conditions</i>
3D	Tridimensional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	Estrutura do trabalho	20
2	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS.....	21
2.1	Tipos de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos.....	23
2.2	Inspeção de manifestações patológicas em fachadas.....	26
3	VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO	28
3.1	Definição e características gerais	28
3.2	Classificação de VANT	29
3.3	Regulamentações para operação de VANT	33
3.3.1	Panorama internacional	33
3.3.2	Panorama nacional	36
4	FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	41
4.1	Definição e características gerais	41
4.2	Fases da fotogrametria.....	43
4.3	Técnica <i>Dense Stereo Matching</i>.....	44
4.4	Ortofotografia e ortomosaico	45
4.5	Mapa de danos	47
5	METODOLOGIA	49
5.1	Delineamento da pesquisa	49
5.2	Pesquisa exploratória.....	53
5.2.1	Revisão sistemática por método PRISMA.....	53
5.2.2	Panorama atual local do uso de VANT na construção civil.....	56
5.3	Pesquisa experimental.....	57
5.3.1	Protocolo de atividades a realizar.....	57
5.3.1.1	<i>Pré-execução: Formulário de planejamento.....</i>	<i>59</i>
5.3.1.2	<i>Execução: Checklist para missão com VANT.....</i>	<i>61</i>
5.3.1.3	<i>Pós-execução: Planilha Flight Log.....</i>	<i>62</i>

5.3.2	Técnica de captura de imagens.....	62
5.3.2.1	<i>Posicionamento da câmera.....</i>	62
5.3.2.2	<i>Sequência de captura.....</i>	63
5.3.2.3	<i>Sobreposição entre fotografias.....</i>	65
5.3.2.4	<i>Iluminação e sombras.....</i>	67
5.3.2.5	<i>Equipe para captura de imagens.....</i>	67
5.3.3	Software e equipamentos utilizados.....	68
5.3.3.1	<i>Software de fotogrametria digital.....</i>	68
5.3.3.2	<i>Hardware para fotogrametria digital.....</i>	72
5.3.3.3	<i>Veículo Aéreo Não Tripulado.....</i>	73
5.3.4	Escolha de edificações para estudos de caso.....	75
5.3.4.1	<i>Estudo de caso A: mediana altura.....</i>	77
5.3.4.2	<i>Estudo de caso B: grande altura tipo I.....</i>	79
5.3.4.3	<i>Estudo de caso C: grande altura tipo II.....</i>	81
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	84
6.1	Pesquisa exploratória.....	84
6.1.1	Resultados da revisão sistemática por método PRISMA.....	84
6.1.2	Resultados da pesquisa do panorama atual local do uso de VANT.....	94
6.1.2.1	<i>Dados da empresa.....</i>	94
6.1.2.2	<i>Dados do responsável.....</i>	95
6.1.2.3	<i>Dados do VANT.....</i>	97
6.1.2.4	<i>Planejamento de voo.....</i>	98
6.1.2.5	<i>Acompanhamento do serviço.....</i>	101
6.2	Pesquisa experimental.....	103
6.2.1	Treinamento do procedimento.....	103
6.2.2	Pré-execução.....	105
6.2.3	Execução.....	108
6.2.4	Pós-execução.....	111
6.2.5	Deteção de manifestações patológicas.....	118
6.3	Análise dos resultados.....	129
6.3.1	Análise da captura de imagens.....	129
6.3.2	Análise do processamento.....	132
6.3.3	Análise da deteção de manifestações patológicas.....	140
6.4	Diretrizes.....	144

6.4.1	Planejamento	145
6.4.2	Definição técnica captura de imagens	146
6.4.3	Captura de imagens	148
6.4.4	Registro dados de voo	149
6.4.5	Processamento de imagens.....	149
6.4.6	Detecção de manifestações patológicas	150
7	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS	155
	APÊNDICES	164
	Apêndice 1: Questionário para pesquisa exploratória.....	164
	Apêndice 2: Formulário para planejamento.....	167
	Apêndice 3: <i>Checklist</i> para missão com VANT.....	170
	Apêndice 4: Planilha <i>Flight log</i>	172
	Apêndice 5: Formulários e <i>checklist</i> completos estudo de caso A.....	173
	Apêndice 6: Formulários e <i>checklist</i> completos estudo de caso B.....	179
	Apêndice 7: Formulários e <i>checklist</i> completos estudo de caso C.....	185
	Apêndice 8: Manifestações patológicas estudo de caso A	191
	Apêndice 9: Manifestações patológicas estudo de caso B	193
	Apêndice 10: Manifestações patológicas estudo de caso C	198

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, os requisitos de desempenho das construções precisam ser estabelecidos na etapa de projeto (vida útil de projeto) e, posteriormente à ocupação, o edifício deve ter capacidade de suportar a ação dos agentes de degradação por um tempo pré-determinado ou previsto (POSSAN; DEMOLINER, 2013). Cumprindo ou não o período de vida útil, atividades de manutenção, recuperação ou reparação são necessárias para reestabelecer os requisitos mínimos de desempenho previamente estabelecidos.

As fachadas da edificação englobam o sistema de revestimento que serve para proteger a edificação contra os agentes de degradação externos, além de proporcionar conforto funcional e estético aos seus usuários (JUST; FRANCO, 2001). Nesse contexto, as atividades de manutenção da fachada podem ter duas principais origens: a durabilidade dos materiais, associada à manutenção planejada preventiva; e as manifestações patológicas, associadas à manutenção planejada corretiva de problemas observados (RESENDE, 2004).

Assim, a inspeção visual de fachadas tem como propósito avaliar o estado de conservação desse sistema e conseqüentemente da vedação vertical e os diferentes elementos que a compõem, fornecendo diretrizes para uma manutenção eficaz e de custo-benefício adequado. Com essa prática pode-se garantir o bom funcionamento do sistema de vedação vertical, permitindo cumprir as funções para as quais foi construído e, possivelmente, ser estendida a sua vida útil (VILLANUEVA, 2015).

Atualmente, no Brasil a inspeção visual das fachadas de edificações é realizada, em sua maioria, pelo método tradicional. De acordo com Aguilar (2018), o profissional desta atividade (alpinismo industrial) pode realizar a verificação visual e o registro fotográfico dos principais pontos a serem analisados.

Por outro lado, como resultado do desenvolvimento e aprimoramento de novas ferramentas tecnológicas na indústria da construção civil, percebe-se que o procedimento de inspeção, e particularmente o registro fotográfico, pode ser auxiliado e otimizado usando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) como ferramenta tecnológica para a captura de imagens aéreas.

Assim, esta ferramenta denominada VANT refere-se a uma classe de aeronaves pilotadas remotamente ou de forma automática por coordenadas pré-definidas, sendo uma tecnologia emergente conhecida por seu papel em aplicações militares (IRIZARRY; COSTA, 2016).

Mais recentemente, tanto no Brasil quanto em outros países, o uso potencial desses veículos aéreos em ambientes civis vem se tornando cada dia mais comum em áreas como agricultura, silvicultura, arqueologia, arquitetura e construção civil. O que era exclusividade de uso militar, agora também está presente em vários outros setores, trazendo uma maneira inovadora para a utilização desta tecnologia (ÁLVARES *et al.*, 2016).

Em termos de regulamentação, apenas no ano de 2017 foi publicada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) a normativa brasileira que regula os requisitos gerais para as aeronaves não tripuladas de uso civil, a norma Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94 (ANAC, 2017). Este regulamento especial estabelece as condições para a operação de VANT no território brasileiro considerando o estágio do desenvolvimento atual, objetivando-se promover seu uso seguro e sustentável.

Em particular, pode-se destacar o uso de tal ferramenta com intuito de auxiliar atividades de gerenciamento de obras, principalmente no que diz respeito à logística de canteiro, monitoramento e acompanhamento do processo evolutivo da obra, além de permitir inspeções visuais em locais de difícil acesso, como por exemplo, edifícios de grande altura (HUNG *et al.*, 2018), onde o uso desta ferramenta para levantamento fotográfico de fachadas pode diminuir as variáveis custo e tempo, quando comparadas com o método tradicional de inspeção (REAGAN; SABATO; NIEZRECKI, 2017).

Para uma melhor compreensão disso, por exemplo, vale a pena questionar quantas horas/dias de trabalho o profissional alpinista leva para escalar e fotografar uma fachada de um prédio alto, além de considerar o elevado risco associado aos trabalhos em altura. Conforme dados divulgados pelo Ministério Público Brasileiro, 40% dos acidentes de trabalho no Brasil estão relacionados a quedas de trabalhadores em altura (EXAME, 2018).

1.1 Justificativa

Num cenário de marcantes desafios na construção de edifícios, onde é imperiosa a necessidade de melhoria da produtividade, qualidade, desempenho e, preponderante, a redução de custos (CONSTRUBUSINESS, 2016; PINHO, 2013), não se considera razoável e coerente o investimento em novas construções diante da demanda pela preservação ou recuperação do estoque de edificações existentes.

O aparecimento cada vez mais precoce de manifestações patológicas está aliado ao crescente grau de insatisfação dos clientes, apontados pelas instituições de proteção e defesa dos consumidores (PROCON, 2012; CAMPOS, 2011). Assim mesmo, a ocorrência de manifestações patológicas em edificações é resultante, em grande parte, pela adoção de procedimentos de execução inadequados, pelo não atendimento das recomendações da normalização e falhas nas especificações de projeto e dos materiais (RIBEIRO *et al.*, 2013; COSTA E SILVA, 2001; THOMAZ, 1989).

As manifestações patológicas em fachadas assumem destacada importância em função do risco à segurança e à perda de desempenho do edifício, já que respondem também pelos aspectos relativos ao conforto, à higiene e à saúde (CEOTTO; BONDUK; NAKAKURA, 2005). Do mesmo modo, as principais manifestações patológicas incidentes nas fachadas são comumente associadas ao descolamento do revestimento, fissuras ou trincas e umidade (SAHADE, 2005; COSTA E SILVA, 2001; LORDSLEEM JR., 1997).

Sobre o assunto, Lichtenstein (1985) recomenda que a resolução das manifestações patológicas deve ser orientada por procedimento de atuação que geralmente envolve as seguintes etapas: inspeção, anamnese, exames, diagnóstico, prognóstico e terapia a ser adotada. Neste contexto, merece uma destacada atenção na fachada, a realização da etapa de inspeção (vistoria para verificar as condições de desempenho e determinar medidas preventivas e corretivas que se fizerem necessárias), em virtude da inerente complexidade do procedimento (altura, tamanho, dificuldades de acesso e condições exposição).

Em particular, a inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edificações com muitos pavimentos é uma tarefa complexa e dispendiosa devido à dificuldade de acesso às partes mais altas (MELO; COSTA, 2015). Por conseguinte, para os propósitos deste trabalho, busca-se associar esse procedimento de inspeção com o emprego de VANT, com o intuito de verificar a viabilidade de sua utilização, visto que a mesma ainda é pouco difundida no Brasil.

Autores como Kim *et al.* (2016), Emelianov, Bulgakow e Sayfeddine (2014) enfatizam as vantagens da utilização do VANT, notadamente pelo aumento da velocidade e expansão da cobertura de realização das atividades de coleta de imagens, além da redução do risco de segurança das pessoas.

Por conseguinte, vislumbra-se o elevado potencial desta ferramenta para o propósito da inspeção visual de locais com difícil acesso, como as seções mais elevadas das fachadas em edifícios de múltiplos pavimentos, que são o objeto de estudo deste trabalho.

Em suma, Patriota (2017) e Melo Jr. (2016) destacam que as imagens aéreas geradas por VANT revelam sua utilidade como documento ilustrativo capaz de agrupar um grande número de informações referentes à quantidade, qualidade e intensidade dos problemas surgidos nas fachadas da edificação.

Com ajuda dessa tecnologia é possível realizar uma filmagem completa e captura de fotografias em alta resolução HD (*High Definition*) de todos os principais pontos investigados. Essa investigação detalhista pode registrar problemas não observados a olho nu visto do térreo, como por exemplo: infiltrações, descolamento ou furos no revestimento e/ou fissuras e trincas na fachada (MELO JR.,2016).

Publicações recentes de Hung *et al.* (2018), Medeiros, Patriota e Torres (2017), Reagan, Sabato e Niezrecki (2017), Irizarry e Costa (2016), Mader *et al.* (2016), Vera (2016) e Yang *et al.* (2015), conseguiram exemplificar a eficiência e ampla aplicabilidade desta tecnologia para a geração de informação e captura de imagens em diferentes cenários.

Esses veículos transportados por via aérea podem gerar dados e imagens de forma muito eficiente, do mesmo modo o uso desta ferramenta permite a eliminação do risco de trabalho em altura, certamente a vistoria com o uso de VANT tende a ser mais segura, haja vista, por exemplo, em caso de queda do veículo aéreo, o mesmo pode ser substituído, não ocorrendo o mesmo para a vida humana em serviços de altura (IRIZARRY; COSTA, 2016).

Do mesmo modo, as imagens aéreas vêm sendo utilizadas para diversas finalidades, e uma destas pode ser a geração de ortomosaicos ou modelos tridimensionais da edificação, assim constituindo um instrumento promissor, visto que a partir dos procedimentos de fotogrametria digital consegue simular ortograficamente (sem efeito de perspectiva) a fachada das edificações com sua forma efetiva (PATRIOTA, 2017).

Neste sentido, uma das prerrogativas da técnica de fotogrametria digital empregada pela maioria de softwares atuais, é que as imagens sejam obtidas perpendicularmente ao plano das fachadas, de pontos e alturas distintos, exigindo para isso a agilidade fornecida por ferramentas como o VANT (MELO JR., 2016).

Em conclusão, há evidências suficientes que enfatizam as diferentes vantagens do uso deste veículo como ferramenta eficiente e flexível para auxiliar em procedimentos de inspeção, sendo amplamente aplicável na indústria da construção civil. Essas vantagens permitem um serviço com maior segurança, maior velocidade e custos mais baixos, exigindo menos recursos, quando comparado com método tradicional de alpinismo industrial (cadeirinha com pedreiro).

Assim, com o desenvolvimento cada vez maior desta tecnologia, aliada a outros tipos de câmeras e sensores, permite o acesso a locais antes inacessíveis ao ser humano e a outras tecnologias, vislumbrando seu uso não apenas na inspeção visual de fachadas, mas também em outras áreas da construção civil, por exemplo: mapeamento de terreno, controle de segurança do trabalho, controle de operários, monitoramento de obra. Por esse motivo e por todos os argumentos antes mencionados, este trabalho pretende explorar o uso do VANT como ferramenta visual para a inspeção de fachadas, objetivo que é detalhado a continuação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar o estudo exploratório do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como ferramenta visual para inspeção de manifestações patológicas em vedações verticais, verificando a viabilidade deste procedimento e visando o desenvolvimento de diretrizes que integram a coleta, processamento e análise de imagens aéreas para o reconhecimento visual das manifestações patológicas.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto acima, foram identificados os seguintes objetivos específicos:

1. apresentar a pesquisa exploratória com a caracterização do panorama atual local de uso de VANT na construção civil;
2. apresentar o estudo experimental do procedimento de inspeção, determinar as atividades a realizar e verificar a factibilidade técnica e legal da inspeção;
3. indicar as diretrizes para sistematizar a inspeção de manifestações patológicas de fachadas com utilização de VANT;
4. identificar os fatores positivos e barreiras para inspeção de manifestações patológicas de fachadas com utilização de VANT.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta dissertação é composta por 7 capítulos seguidos das Referências e Apêndices. O capítulo 1 de introdução, capítulo 2, 3, 4 de revisão bibliográfica, capítulo 5 de metodologia, capítulo 6 de resultados e discussões e finalmente o capítulo 7 de conclusões.

O capítulo 1 – “INTRODUÇÃO” com a contextualização do tema seguida da justificativa para desenvolvimento do trabalho. Faz parte desse capítulo, a apresentação dos objetivos da pesquisa e da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 – “MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS” aborda os principais conceitos relacionados às manifestações patológicas que ocorrem em revestimento cerâmico de fachadas, bem como o procedimento tradicional para sua inspeção.

O capítulo 3 – “VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO” se refere aos conceitos fundamentais de veículos aéreos não tripulados, suas características gerais, classificação e as regulamentações para sua operação, apresentando o panorama internacional tanto como o nacional.

O capítulo 4 – “FOTOGRAMETRIA DIGITAL” expõe os conceitos básicos da fotogrametria digital, tratando as etapas que a compõem, a técnica de produção e os produtos de processamento.

O capítulo 5 – “METODOLOGIA” delinea a pesquisa, assim como as etapas definidas para desenvolvimento do trabalho. Apresentando as informações técnicas, estratégias e questionários para a pesquisa exploratória, bem como o protocolo, técnicas, equipamentos e critérios de seleção dos estudos de caso para a pesquisa experimental.

O capítulo 6 – “RESULTADO E DISCUSSÕES” explana os resultados e discussões da pesquisa. Este capítulo apresenta detalhadamente as duas etapas que compõem a pesquisa exploratória e os estudos de caso realizados na pesquisa experimental. Incluindo uma análise geral da experiência de inspeção, abordando a captura de imagens, o processamento digital e detecção de manifestações patológicas, para finalmente propor as diretrizes do procedimento de inspeção de manifestações patológicas com VANT.

O capítulo 7 - “CONCLUSÕES” apresenta as conclusões do trabalho, explanando as considerações cabíveis após toda a pesquisa realizada, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS

Em conformidade à estrutura do trabalho apresentada, neste capítulo é abordada uma breve revisão da literatura relativa aos elementos de interesse para o procedimento de inspeção de fachadas com VANT. Assim, em primeiro lugar, é essencial introduzir os mais importantes conceitos, justificativas e características sobre manifestações patológicas em revestimentos de fachadas, mais especificamente, no concernente ao subtipo de revestimento cerâmico. Isto justificado pela elevada frequência do uso deste material na região de Recife (JUST; FRANCO, 2001), lugar onde foram realizados os estudos de caso.

Derivada do grego, a palavra patologia é determinada como o estudo das doenças, tanto na medicina quanto em outras áreas, como na engenharia. Já a fachada trata-se da parte exterior de uma edificação, são as faces frontais, posteriores e laterais. Com isso, o estudo das manifestações patológicas em fachadas visa detectar a ocorrência dessas imperfeições, além de buscar informações das possíveis causas e melhorias (CORREA; MIRANDA, 2013).

Para Silva (2007) e Verçosa (1991), o estudo das manifestações patológicas se resume à identificação das causas e efeitos de problemas encontrados nas edificações, elaborando seu diagnóstico e correção. Do mesmo modo, Helene (1993) descreve o estudo da patologia como a investigação dos sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, como o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

As manifestações patológicas nas fachadas, que afetam tantas edificações, se referem aos defeitos que se originam nas paredes ou estruturas devido a diversos fatores que, de acordo com Silva (2007), podem estar relacionados a vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias. Merecem destaque as cargas excessivas, variações de umidades, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, entre outros. Geralmente, manifestam-se no revestimento, seja ele de argamassa, pético ou cerâmico (GALLETTO; ANDRELLO, 2013).

Os sistemas de revestimento, sendo a parte que se apresenta mais visível, correspondem ao acabamento final de uma edificação e, dentre diversas funções, a proteção é a que mais se destaca pela sua importância, pois visa resguardar as superfícies a serem revestidas contra os agentes causadores de deterioração, dentre os quais infiltração de água de chuva, da água contida no solo, água de uso ou manutenção, além da ação de ventos, temperatura e umidade do ar, ação de fungos, e outros agentes de carga, de uso e sobrecarga (IBAPE, 2005).

A utilização de revestimentos cerâmicos de fachada tem sido incrementada de maneira substancial nas últimas três décadas no Brasil (FERREIRA, 2007). Este fato é principalmente devido a duas causas: o acréscimo da durabilidade das edificações por consequência de uma maior proteção oferecida por este sistema e a valorização dos imóveis revestidos (JUST; FRANCO, 2001).

De acordo com Just e Franco (2001), não há outro material utilizado em fachadas que possa apresentar a riqueza de composições e durabilidade do revestimento cerâmico, com um custo tão acessível. Especialmente para edificações situadas em regiões litorâneas que apresentam um grande número de manifestações patológicas, motivadas pela agressividade do meio em que se encontram, como é o caso da cidade do Recife. Em suma, conforme a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER, 1994), os fatores que levam os arquitetos a optarem pela utilização do revestimento cerâmico na fachada são: durabilidade, facilidade de manutenção e limpeza, beleza e possibilidade de combinação das placas e cores.

Porém, um aspecto importante inerente ao sistema de revestimento cerâmico de fachada é o grande número de insumos envolvidos na sua produção. Nesse processo, todos os componentes podem, de alguma forma, alterar ou comprometer o desempenho global, através das características da base, das argamassas de emboço e de assentamento, da placa cerâmica, do rejunte e das juntas. Como se pode observar, com um número tão grande de variáveis, o controle da produção fica dificultado; consequentemente, diversos equívocos têm sido cometidos na utilização do revestimento cerâmico para fachada, que junto à agressividade do meio, geram a ocorrência de manifestações patológicas (ALMEIDA, 2004; JUST; FRANCO, 2001).

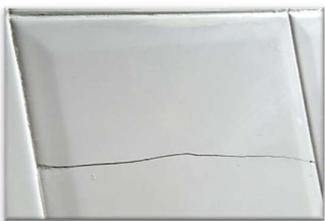
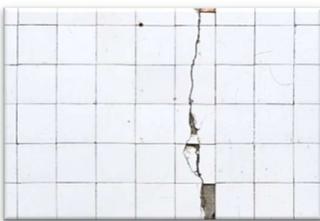
Segundo Medeiros e Sabbatini (1999), as causas destas manifestações patológicas são diversas, abrangendo projeto, execução, materiais e mão-de-obra, no entanto, na maioria das vezes, um problema não é causado por um único fator, mas pela interação de diversos aspectos atuando simultaneamente. Do mesmo modo, de acordo com Campante e Sabbatini (1999), a maioria das ocorrências de manifestações patológicas em revestimento cerâmico pode ser atribuída à falta de compreensão das interfaces entre seus diversos componentes. Essa falta de compreensão está ligada às deficiências no conhecimento técnico de toda a cadeia produtiva.

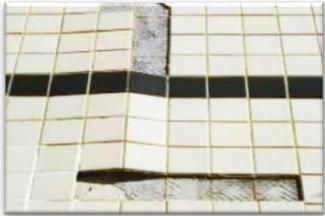
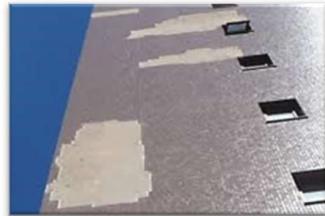
2.1 Tipos de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos

As manifestações patológicas incidentes nos revestimentos cerâmicos de fachada podem apresentar-se de maneiras distintas. Assim, as consequências podem ir desde problemas estéticos ou de desempenho do revestimento, aos riscos de acidentes com pessoas, substancialmente agravados pela altura dos edifícios (ALMEIDA, 2004).

Segundo Horsth *et al.* (2018), Correa e Miranda (2013), Galletto e Andrello (2013) e Ferreira (2007), os principais tipos de manifestações patológicas mais associadas aos revestimentos cerâmicos de fachada são: fissuras, trincas, eflorescência, destacamento e manifestações patológicas decorrentes de processos biológicos. Manifestações patológicas que são brevemente descritas no Quadro 1, ressaltando que o foco do trabalho não são as manifestações patológicas, já tratada em diversos outros trabalhos como antes citados.

Quadro 1: Tipos de manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos

FISSURAS E TRINCAS		
Característica	Causas	Distintivo visual
A principal característica destes fenômenos é aparência de rupturas que ocorrem na superfície ou corpo da placa cerâmica, gerando a perda da integridade do revestimento de fachada em alguns de seus componentes expostos, as placas ou as juntas. Quando acontecem geram o descolamento da placa do substrato (ALMEIDA, 2004).	As causas desta manifestação são atribuídas a quatro fatores: dilatação e retração da camada de revestimento; deformação da base ou deformações diferenciais base-revestimento de grande amplitude; trincas na alvenaria ou no encontro alvenaria-estrutura; retração da argamassa. (BARROS; SABBATINI; LORDSLEEM JR., 1998).	As trincas são aberturas maiores que 0,5 mm e menores que 1 cm e, causam a separação da placa em diversas partes. Por outro lado, as fissuras são aberturas maiores que 0,05 mm e menores que 0,5 mm que não provocam rompimento nas placas. Observadas com maior frequência nos primeiros e últimos pavimentos (SILVA, 2007).
<p>Exemplo 1:</p> 	<p>Exemplo 2:</p> 	<p>Exemplo 3:</p> 

Quadro 1: Tipos de manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos (Continuação)		
EFLORESCÊNCIA		
Característica	Causas	Distintivo visual
A eflorescência é caracterizada pelo efeito de lixiviação, que transporta os sais solúveis até a superfície, onde ficam retidos após a evaporação da água, podendo provocar deterioração do sistema. Pode surgir em pontos específicos de forma concentrada ou generalizada por toda a fachada (MELO, 2016).	Fenômeno proveniente da presença de substâncias solúveis nos componentes das alvenarias, nas argamassas de regularização, assentamento e na água. Aflorando nas juntas e no revestimento cerâmico pelo movimento de água através de porosidades nas camadas do sistema de revestimento (ALMEIDA, 2004; BARROS; SABBATINI; LORDSLEEM JR., 1998).	Visualmente, a eflorescência apresenta-se como manchas esbranquiçadas que sobressaem ao revestimento cerâmico e a ele se aderem.
Exemplo 1: 	Exemplo 2: 	Exemplo 3: 
DESTACAMENTO		
Característica	Causas	Distintivo visual
Esta manifestação pode ser considerada a mais perigosa por causar danos à integridade física e material. Entre os sinais que podem indicar um possível destacamento está a ocorrência de um som cavo nas placas cerâmicas quando percutidas. Geralmente ocorre nos primeiros e nos últimos andares dos edifícios, devido ao maior nível de tensões presentes nestes locais (CAMPANTE; SABBATINI, 1999).	Fenômeno causado por falhas ou rupturas na interface da cerâmica com a argamassa adesiva, ou mesmo desta com o substrato, devido a tensões surgidas que ultrapassem a capacidade resistente das ligações. Provocados por erros de execução, uso de materiais inadequados, deficiências na etapa de projeto, além da falta de manutenção (LORDSLEEM JR.; BATISTA, 2017).	Visualmente, podem ser observadas fissurações no rejunte entre placas cerâmicas da área afetada e, ressaltos anormais no sistema de revestimento cerâmico. Quando a placa cai, observa-se a capa de regularização ou a argamassa de assentamento expostas.
Exemplo 1: 	Exemplo 2: 	Exemplo 3: 

Quadro 1: Tipos de manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos (Continuação)		
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DECORRENTES DE PROCESSOS BIOLÓGICOS		
Característica	Causas	Distintivo visual
Presença de microrganismos invisíveis a olho nu, como por exemplo, algas, bactérias, cianobactérias e fungos, que podem causar uma camada indesejada na superfície dos materiais, o biofilme. Entre eles, os fungos são os principais agentes de degradação, pois possuem boa adaptação a meios estressantes (SILVA, 2007).	Os principais fatores que influenciam o crescimento de microrganismos nas fachadas das construções são: umidade, falta de ventilação, condições térmicas, tipos de materiais utilizados nas construções, tipo de acabamentos, distribuição geográfica, materiais orgânicos, manutenção e gerenciamento (FIGUEIREDO, 2017).	As manifestações patológicas decorrentes de processos biológicos, no caso dos fungos, apresentam-se visualmente com manchas escuras esverdeadas, pretas, marrons ou cinzas. Assim, as algas apresentam-se como manchas esverdeadas, azuladas ou vermelho-castanho.
Exemplo 1: 	Exemplo 2: 	Exemplo 3: 

Fonte: Autor (2020)

A queda do desempenho funcional de uma fachada, provocado pelo surgimento de uma das manifestações patológicas acima mencionadas, deve-se somar um prejuízo de natureza estética e simbólica, representado pela deterioração visual da edificação.

A principal impressão causada pelos edifícios nas pessoas consiste no que é visto pelo seu exterior. Para cada oportunidade de análise dos aspectos internos de uma edificação, a pessoa, seja caminhando, ou até de dentro do seu automóvel, faz centenas e milhares de “inspeções” acerca do visual externo dos imóveis, conforme um critério particular de julgamento (JUST; FRANCO, 2001).

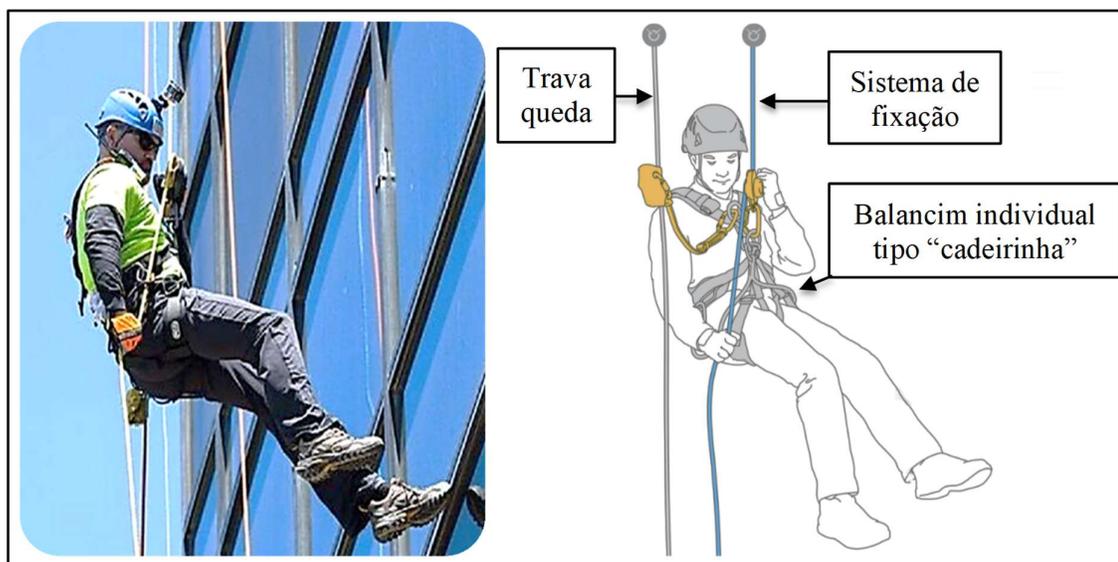
Em outras palavras, em curto prazo as manifestações patológicas desvalorizam o patrimônio predial, e a médio e longo prazo podem comprometer a segurança da edificação. O devido cuidado na preservação desse elemento construtivo garante a proteção contra a agressividade do meio, relacionando-se diretamente com a durabilidade da edificação. Assim, em virtude do discutido, é evidente a importância das inspeções técnicas nas fachadas das edificações visando sua preservação, tópico que é abordado a seguir.

2.2 Inspeção de manifestações patológicas em fachadas

Segundo o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2014), a inspeção é uma constatação com análise de risco, visando à qualidade, ao conforto e à segurança construtiva para seus usuários; consiste em avaliar o sistema de revestimento por meio de inspeção visual, ensaio de percussão para avaliar trechos com som cavo (passíveis de falhas de aderência), permitindo gerar prognósticos e prescrições técnicas para a boa gestão de manutenção das edificações.

Atualmente, no Brasil a inspeção de manifestações patológicas em fachadas é feita, em sua maioria, pelo método tradicional que inclui o alpinista industrial (Figura 1). De acordo com Aguilar (2018), o profissional deste ramo pode realizar a verificação visual e o registro fotográfico dos principais pontos a serem analisados.

Figura 1: Profissional do alpinismo industrial



Fonte: Adaptação (VDR, 2019)

Esse método de inspeção visual é realizado por meio de descidas com balancins individuais tipo “cadeirinha”, desde a cobertura até o pavimento térreo, de forma a abranger toda a área das fachadas, e com registro fotográfico, o que permite uma avaliação do estado de conservação geral deste elemento e uma análise inicial das manifestações patológicas existentes. Em suma, este método de inspeção também permite a realização de testes de percussão, o que possibilita a detecção das áreas com som cavo e, portanto, com prováveis problemas de aderência do revestimento cerâmico (VDR, 2019).

No entanto, nessa atividade, as variáveis custo e tempo podem resultar superiores quando comparadas com uma nova ferramenta emergente, ideal para a captura de imagens aéreas, o Veículo Aéreo Não Tripulado. Assim mesmo, vale a pena considerar o risco de trabalho em altura a que o profissional de alpinismo industrial está submetido; por exemplo, em caso de queda do VANT, ele pode ser substituído, mas a vida humana em serviços de altura, não.

Com o VANT é possível realizar uma captura de imagens ou filmagem completa em alta resolução de todos os pontos da fachada em busca de manifestações patológicas. Essa investigação detalhista no sistema de revestimento pode registrar problemas não observados a olho nu, como por exemplo: descolamento, infiltrações, eflorescência, fissuras e trincas. Seguidamente, o engenheiro ou arquiteto pode analisar os ativos visuais coletados e indicar as possíveis falhas no sistema de fachada com as devidas recomendações de ações corretivas, para então elaborar o laudo de inspeção predial de fachadas.

Vale esclarecer que este trabalho não visa menosprezar o serviço de alpinismo industrial. Destaca-se que essa atividade é de suma importância, como por exemplo, para serviços de reparo, limpeza ou testes de percussão. Porém é razoável considerar que para o procedimento de vistoria de fachadas, o uso do VANT pode ser mais vantajoso devido à inerente característica de versatilidade no levantamento fotográfico que propicia esta ferramenta.

3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Neste capítulo são abordados conceitos, características e classificações importantes sobre os veículos aéreos não tripulados, popularmente conhecidos como *drones*. Além de tratar o panorama atual da regulamentação internacional e nacional para a operacionalização destas aeronaves no espaço aéreo, com o intuito de estabelecer a legalidade do procedimento em território brasileiro. E finalmente, discutir conceitos de fotogrametria digital, necessária para obtenção de ativos visuais com VANT.

Mais recentemente, tanto no Brasil quanto em outros países, o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados em ambientes civis tem aumentado. Certamente o serviço de vistoria de fachadas pode ser beneficiado pelas qualidades desta ferramenta, vislumbrando o grande potencial para tornar o procedimento mais rápido e seguro.

3.1 Definição e características gerais

Segundo o Ministério da Defesa (BRASIL, 2015a), o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é todo e qualquer tipo de aeronave que pode ser controlada nos 3 eixos e que não necessite de pilotos embarcados para ser guiada. Este tipo de aeronave é controlado à distância por meios eletrônicos e computacionais, sob a supervisão de humanos, ou mesmo sem a sua intervenção, por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

É importante destacar que o termo *drone* é apenas um nome genérico, um apelido informal, originado nos EUA, que vem se difundindo mundo a fora para caracterizar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele de qualquer origem, característica ou propósito (comercial, recreativo, profissional, militar, etc.). Ou seja, é um termo genérico, sem amparo técnico ou definição na legislação. Por outro lado, VANT é a terminologia oficial prevista pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este veículo aéreo.

No entanto, existem algumas diferenças importantes entre as terminologias acima mencionadas. Assim, de acordo com a legislação brasileira pertinente (ANAC, 2017), caracteriza-se como VANT toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, porém, ela deve possuir carga útil embarcada e não ser de caráter recreativo. Em outras palavras, nem todo *drone* pode ser considerado como VANT, já que um *drone* utilizado como hobby ou esporte enquadra-se, por definição legal, na legislação pertinente aos aeromodelos (DECEA, 2015).

Do mesmo modo, há dois tipos diferentes de VANT. A primeira subcategoria mais conhecida é o *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), ou em português, Aeronave Remotamente Pilotada. Nessa condição, o piloto não está a bordo, mas controla a aeronave remotamente por meio de uma interface qualquer (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto, etc.). Diferente da outra subcategoria, denominada *Autonomous Aircraft* (AA) ou Aeronave Autônoma que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo (BRASIL, 2015b).

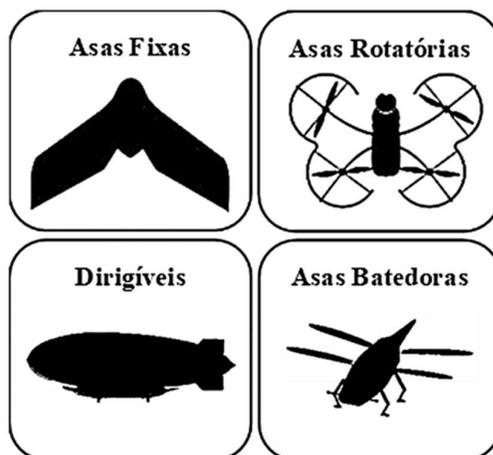
3.2 Classificação de VANT

Segundo Amorim, Silva e Christakou (2012), o VANT pode ser classificado por características de desempenho, que envolvem aspectos quanto: ao peso próprio, alcance (referente à distância da base), carga útil ou *Payload*, tempo máximo de permanência em voo, altitude máxima e tipo de propulsão.

O termo *Payload*, como descrito por Neto e Almeida (2009), refere-se à capacidade de transporte de uma aeronave, englobando equipamentos internos, armamentos, munições e combustível externo, pois, geralmente, não se contabiliza o combustível interno. Em suma, esse termo trata-se de toda a carga externa que uma aeronave pode transportar com segurança além do peso próprio, normalmente expresso em quilogramas no caso do VANT.

Segundo Angelov (2012), o VANT pode se classificar de acordo com as características aerodinâmicas, tais como, asa fixa, asa rotativa, dirigíveis e asas batedoras (*flapping wing*), conforme a Figura 2.

Figura 2: Tipos de VANT por características aerodinâmicas



Fonte: Autor (2020)

As aeronaves de asas fixas necessitam de pistas para decolagem e pouso; em alguns casos, são utilizadas catapultas para lançamento, e geralmente são capazes de realizar voos de longa duração. Como as asas fixas são similares as de um avião, a sustentação é maior e, conseqüentemente, o gasto energético significativamente inferior (VERA, 2016).

Por outro lado, as aeronaves de asas rotatórias realizam pouso e decolagem vertical, mediante um sistema de sustentação que permite alta manobrabilidade e estabilidade no ar. Tais características têm impulsionado o crescimento das aplicações com VANT desta classificação (AMORIM; SILVA; CHRISTAKOU, 2012).

As aeronaves do tipo dirigíveis são mais leves que o ar e realizam voos de longa duração, voam em baixa velocidade e normalmente são grandes em tamanho. Finalmente, o VANT de asa batidora possui pequenas asas flexíveis inspiradas em pássaros e insetos voadores (ANGELOV, 2012).

De acordo com Amorim, Silva e Christakou (2012), existem vários padrões de classificação para o VANT, como os preconizados pela Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (*Civil Aviation Authority - CAA*) ou o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*Department Of Defense - DOD*). Esses órgãos governamentais apresentam uma classificação para peso próprio das aeronaves, como exemplifica o Quadro 2.

Quadro 2: Classificação de VANT de acordo à CAA e DOD

CATEGORÍA	PESO (Kg)
CAA <i>Military</i>	
Micro UAV (VANT Micro)	<5
Mini UAV (VANT Mini)	<30
<i>Lightweight</i> UAV (VANT Leve)	<150
UAV (VANT)	>150
CAA <i>Civilian</i>	
<i>Small</i> UAV (VANT pequeno)	<20
<i>Lightweight</i> UAV (VANT Leve)	<150
UAV (VANT)	>150
U. S. DOD	
<i>Level 0</i> (Nível 0)	<2
<i>Level 1</i> (Nível 1)	<20
<i>Level 2</i> (Nível 2)	<1.320

Fonte: (CAA, 2019; FAA, 2015)

Na atualidade, não existe uma única classificação para o VANT com validade internacional. Cada país elabora sua própria classificação em função de fatores como altitude máxima de voo, resistência ou autonomia e peso de decolagem. No entanto, Amorim, Silva e Christakou (2012) afirmam que as classificações tendem a unificar-se e evoluir à medida que se avança no desenvolvimento desta tecnologia.

Com o intuito de sintetizar as diferentes classificações e buscando basear-se num padrão internacional, é apresentada a classificação desenvolvida pela Associação Internacional de Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle Systems Association*) no Quadro 3, englobando as categorias de VANT e as principais características.

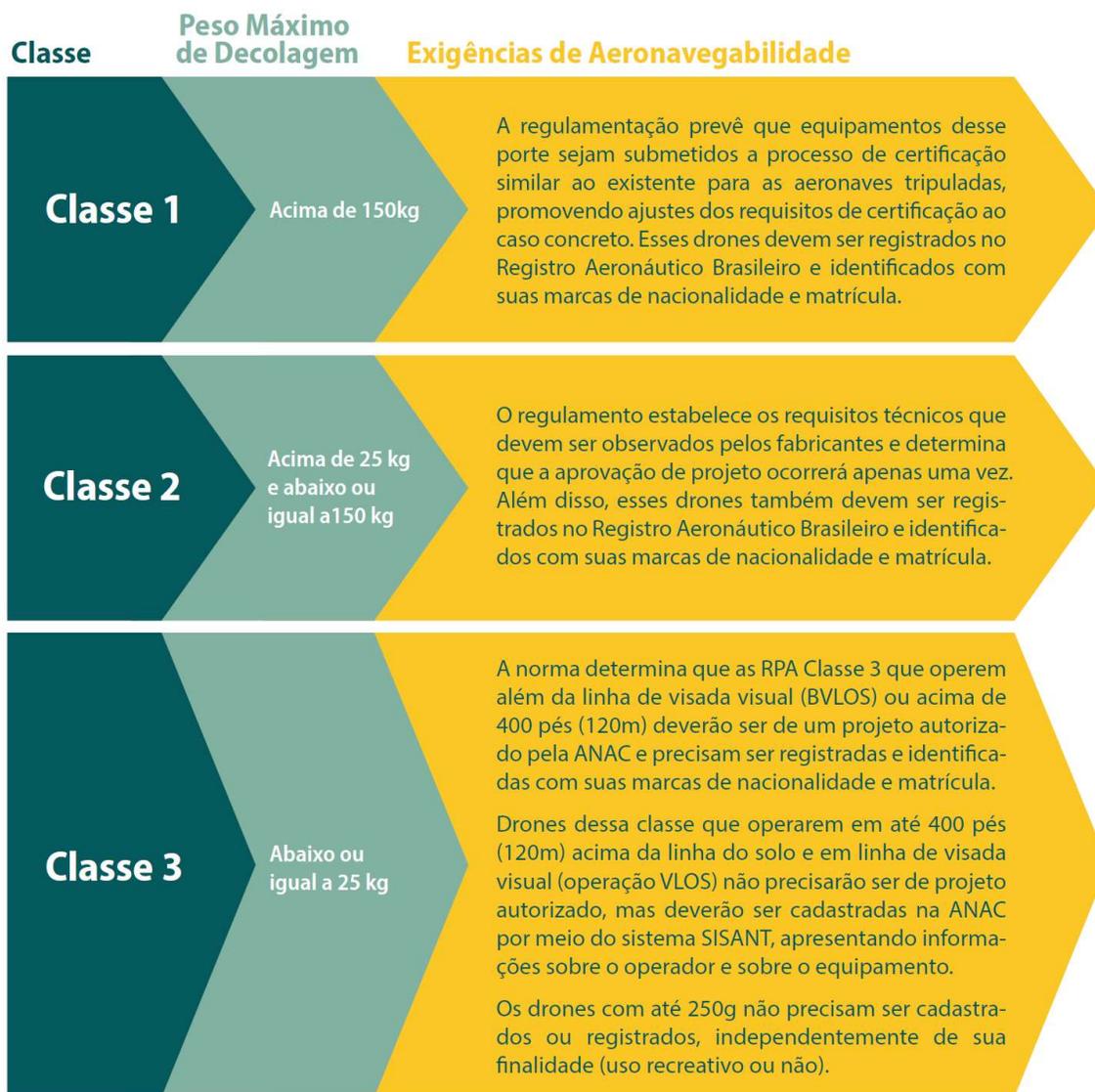
Quadro 3: Classificação de VANT pela *Unmanned Aerial Vehicle Systems Association*

CATEGORIA	ACRÔNIMO	ALCANCE (Km)	ALTITUDE VOO (m)	AUTONOMIA (Horas)	PESO (Kg)
<i>Micro</i>	μ (micro)	< 10	250	1	<5
<i>Mini</i>	Mini	< 10	150 – 3.000	< 2	150
<i>Close Range</i> (alcance menor)	CR	10 – 30	3.000	2 – 4	150
<i>Short Range</i> (curto alcance)	SR	30 – 70	3.000	3 – 6	200
<i>Medium Range</i> (médio alcance)	MR	70 – 200	5.000	6 – 10	1.250
<i>Medium Range Endurance</i> (Resistência de Médio Alcance)	MRE	>500	8.000	10 – 18	1.250
<i>Low Altitude Deep Penetration</i> (baixa altitude penetração profunda)	LADP	>250	50 – 9.000	0,5 – 1	350
<i>Low Altitude Long Endurance</i> (Baixa Altitude Longa Resistência)	LALE	>500	3.000	>24	<30
<i>Medium Altitude Long Endurance</i> (Altitude Média Longa Resistência)	MALE	>500	14.000	24 – 48	1.500

Fonte: (UAV, 2012)

De acordo com a regulamentação da ANAC (2017), o VANT é dividido em três classes: Classe 1 são aquelas com Peso Máximo de Decolagem (PMD) maior que 150 Kg; Classe 2 são os VANT com PMD maior que 25 Kg e menor ou igual a 150 Kg; e Classe 3 são os VANT com PMD menor ou igual a 25 Kg. Isso é exemplificado na Figura 3, apresentando as exigências de aeronavegabilidade para cada classe de aeronave.

Figura 3: Classificação de VANT pela ANAC



Fonte: (ANAC, 2017)

O tipo de VANT selecionado para o presente trabalho é da Classe 3, isto é justificado na excelente gama de aeronaves oferecidas no mercado brasileiro que podem ser enquadradas nesta classificação, com características de sustentação e equipamentos de captura de imagens ideais para o propósito desta pesquisa.

Adicionalmente, as regulamentações aplicadas sobre esta classificação de aeronaves para operações com fins comerciais (vistoria de fachadas), são mais leves, quando comparadas com os VANT Classe 2 ou Classe 1.

Atualmente o mercado brasileiro permite uma grande facilidade de aquisição do VANT Classe 3. Porém, é importante notar que essa situação favorável não torna qualquer usuário apto para pilotar o equipamento. Existem regras, normas e procedimentos para se tornar piloto destas aeronaves. Esse panorama regulatório é discutido na continuação.

3.3 Regulamentações para operação de VANT

Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia e conseqüente redução de preços, os VANT tornaram-se efetivos usuários do espaço aéreo, e o emprego desses equipamentos, como não poderia deixar de ser, necessita estar claramente regulamentado com o objetivo de não causar transtornos e levar insegurança à aviação tanto civil como militar, cuja atividade está amplamente regulamentada.

A regulamentação do VANT também é necessária para que o mercado possa expandir sem ameaçar a segurança ou privacidade de indivíduos, por exemplo, controlando riscos de colisão com outros objetos ou aeronaves, além de evitar o uso destas ferramentas para fins ilegais (SCHREIBER; OSTIARI, 2014). A seguir, apresenta-se uma breve explanação acerca da regulamentação do uso do VANT para fins civis, abordando os requisitos principais no contexto nacional e internacional.

3.3.1 Panorama internacional

Internacionalmente, o órgão que trata o assunto padronizando conceitos, regras e nomenclaturas, é a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) das Nações Unidas. Em 2011, publicou a Circular 328; este documento afirma que um VANT deve demonstrar níveis equivalentes de segurança às aeronaves tripuladas e, portanto, atender às regras governamentais relevantes para os equipamentos da aeronave e do voo (OACI, 2011).

Por outro lado, os diferentes países do mundo têm seus próprios panoramas regulamentadores e, com o intuito de exemplificar esse cenário internacional, o Quadro 4 apresenta brevemente algumas características importantes sobre a regulamentação para VANT em alguns países do mundo.

Quadro 4: Panorama regulatório internacional do uso de VANT

AMÉRICA DO NORTE	
Canadá	O órgão governamental regulamentador Transporte Canada (<i>Transport Canada</i>), em 2016, propôs a implementação de novas regulamentações que exigiriam que todos os VANT com mais de 250 gramas fossem registrados, segurados, e que os operadores tivessem idade mínima, passando por um exame para obter uma licença (BURKE, 2018). Esta regulamentação foi introduzida no ano 2017.
Estados Unidos	O órgão competente para a regulamentação de VANT no espaço aéreo dos estados unidos é a Administração Federal de Aviação (<i>Federal Aviation Administration - FAA</i>). A FAA adotou o nome de Aeronaves Não Tripuladas (<i>Unmanned Aircraft - UA</i>) para descrever sistemas de aeronaves sem tripulação de voo a bordo. Para operar uma UA com fins não recreativos nos Estados Unidos, é necessário obter um Certificado de Autorização para operar no espaço aéreo nacional. A FAA pode permitir o uso de UA para fins comerciais, com certificados de autorização para Empresas, em resposta a solicitações individuais de isenção (STEINBERG, 2016). Em dezembro de 2015, a FAA anunciou que todos os UA com peso superior a 250 gramas voados para qualquer finalidade devem ser registrados na FAA. Cada UA receberá um certificado de registro de aeronave e um número de registro. A aeronave deve ser marcada com o número de registro emitido pela FAA. A falta de registro pode resultar em penalidades civis de até US \$ 27.500 e penalidades criminais que podem incluir multas de até US \$ 250.000 e / ou prisão por até três anos (FAA, 2015).
AMÉRICA DO SUL	
Chile	A Direção Geral de Aeronáutica Civil (<i>Dirección de Aeronáutica Civil - DGAC</i>) é o órgão que regula a atividade aérea no país e, portanto, a operação de VANT, para os quais desde o 2015 tem dois regulamentos aeronáuticos, Disposição Aeronáutica Nacional (<i>Disposición Aeronáutica Nacional – DAN</i>) DAN 151 e DAN 91. Eles estabelecem que, quando o VANT excede 750 gramas ou está sendo operado em uma área povoada, o operador deve ter a credencial de piloto remoto, junto com o cartão de registro do VANT e a autorização de operação concedida pela DGAC (DGAC, 2017). Para obter a Credencial de Piloto Remoto o candidato deve ter completado dezoito anos de idade, realizar uma declaração juramentada perante um notário de que recebeu instruções teóricas e práticas relativas ao modelo do VANT para voar e, finalmente, aprovar um exame escrito sobre DAN 151, DAN 91, Meteorologia e Aerodinâmica (DGAC, 2015).
Uruguai	Em 2014, o governo uruguaio regulamentou os VANT. Máquinas com menos de 25 kg não necessitam de licença de operação e podem operar numa altitude máxima de 120 metros (400 pés) dentro da linha visual do piloto. Máquinas com até 260 kg devem ser registradas e o piloto deve ter permissão especial; para voos acima dos 120 metros deve-se solicitar autorização do controle de tráfego aéreo. Máquinas acima de 260 kg são classificadas como aeronaves dentro da legislação uruguaia e, exigem uma licença de piloto completa (MARCO, 2017).

Quadro 4: Panorama regulatório internacional do uso de VANT (Continuação)	
EUROPA	
Reino Unido	A Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (<i>Civil Aviation Authority - CAA</i>), regula que os VANT com menos de 20 quilogramas devem estar em contato visual direto com o piloto, não podem voar a menos de 150 metros (492 pés) de uma área congestionada ou a 50 metros de uma pessoa ou veículo e, não podem ser usados para atividade comercial (REED, 2012). Em julho de 2018, as regras da CAA foram atualizadas para impedir que o VANT voasse acima de 120 metros (400 pés) e menos de 1 km de um aeroporto ou limite de aeródromo. Assim mesmo, em fevereiro de 2019, o Departamento de Transporte do Reino Unido anunciou uma nova legislação para estender a zona de exclusão aérea em torno dos aeroportos, proibindo que o VANT voe dentro de 5 quilômetros (3,1 milhas) de pistas (CAA, 2019).
França	De acordo com a Autoridade Nacional de Aviação Civil francesa (<i>Autorité Nationale de l'Aviation Civile</i>), o VANT não pode voar acima de 150 metros (492 pés) sem aprovação especial. Esses veículos também são proibidos de sobrevoar pessoas, propriedades privadas (sem autorização do proprietário), instalações militares, prisões, usinas nucleares, monumentos históricos, aeroportos ou aeródromos. Os pilotos de VANT para fins comerciais devem passar por um exame teórico. O exame pode ser feito online ou em instalações específicas do departamento de segurança da aviação civil francesa. Ao passar no exame, o piloto receberá um certificado de <i>telepiloto</i> , o qual deve portar para todos os voos (BORING, 2016).
OCEANIA	
Austrália	De acordo com a Autoridade de Segurança da Aviação Civil australiana (<i>Civil Aviation Safety Authority – CASA</i>), as aeronaves pilotadas remotamente devem se manter a pelo menos 30m de estruturas, prédios e pessoas, sendo operados de maneira a não criar um perigo. Antes de qualquer operação com VANT, deve-se verificar com o conselho local onde ele pode ser usado, sinalizando áreas restringidas (GRUBB, 2014).
ÁFRICA	
África do Sul	A Autoridade de Aviação Civil Sul Africana (<i>South African Civil Aviation Authority - SACAA</i>), em 2014, anunciou a ilegalidade da realização de voos com VANT no espaço aéreo da África do Sul. Em 2015, o crescimento internacional no uso de VANT levou à SACAA a integrá-los no espaço aéreo sul-africano, isto por meio da oitava alteração do Regulamento da Aviação Civil Sul Africana. As regulamentações têm foco nos aspectos de segurança, assim, o VANT não é autorizado voar acima de 120 metros (400 pés) ou a menos de 50 metros de uma pessoa ou grupo de pessoas sem aprovação da SACAA. Do mesmo modo, são aplicadas restrições do espaço aéreo acima de plantas nucleares, prisões, estações de polícia, cenas de crime, tribunal de justiça e pontos chave nacionais (IWUOHA, 2018).

Quadro 4: Panorama regulatório internacional do uso de VANT (Continuação)	
ÁSIA	
China	<p>A Autoridade Nacional de Aviação da China (<i>Civil Aviation Administration of China - CAAC</i>) propõe introduzir regulamentações que sigam amplamente os padrões americanos. Assim, o VANT não pode ser voado acima de 120 metros (394 pés) sem aprovação especial. Esses veículos também são proibidos de sobrevoar áreas densamente povoadas, aeroportos, instalações militares ou outras áreas sensíveis, como postos de controle ou subestações da polícia.</p> <p>Qualquer VANT pesando 250 gramas ou mais deve ser registrado na CAAC. A falha em registrar e marcar a aeronave poderia ser punível com uma multa de US \$ 250.000 ou até três anos de prisão. Do mesmo modo, quando a aeronave tem fins comerciais deve obter uma licença comercial, e as atividades operacionais devem ser realizadas por uma pessoa física ou jurídica, no caso desta última, o representante legal da empresa deve ser um cidadão chinês (LEE, 2017).</p>
Japão	<p>De acordo com a <i>Japan Civil Aviation Bureau (JCAB)</i>, a autoridade japonesa de aviação civil, o termo UA refere-se a qualquer avião, helicóptero, planador ou dirigível que não pode acomodar qualquer pessoa a bordo e pode ser pilotado remotamente ou automaticamente (excluindo os mais leves que 200 gramas, incluindo o peso da bateria). Antes de realizar qualquer tipo de voo com um UA no Japão, deve-se solicitar a aprovação do governo enviando uma solicitação de permissão para o Ministério de Infraestrutura Terrestre, Transporte e Turismo pelo menos 10 dias úteis antes da operação proposta.</p> <p>Assim, durante as operações destes veículos, os pilotos devem manter uma linha visual direta com o UA, não sendo permitido voar durante a noite, além de não ser permitido atingir alturas superiores a 150 metros (492 pés) acima do solo ou superfície de água e, também deve-se manter uma distância de pelo menos 30 metros (98 pés) de pessoas, prédios e veículos. Esses veículos também são proibidos de sobrevoar aeroportos, instalações militares, propriedade privada (sem autorização) e todos os espaços aéreos acima dos Distritos Densamente Habitados (DID), que são definidos e publicados pelo Ministério de Assuntos Internos e Comunicações (isto é, área urbana e subúrbio, portanto apenas a área rural é permitida) (MLIT, 2018).</p>

3.3.2 Panorama nacional

No território brasileiro, os órgãos competentes para regulamentar o uso de VANT são a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), a Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e o Ministério da Defesa (MD) (PATRIOTA, 2017).

A ANAC, ao aprovar o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-nº 94), em 02 de maio de 2017, estabeleceu os requisitos gerais para o uso civil de aeronaves não tripuladas, abordando matéria exclusivamente técnica sobre a segurança da aviação civil,

definindo nomenclaturas, responsabilidades, classes de aeronaves, requisitos para obtenção de certificado de aeronegabilidade, regras de voo e para aprovação de projetos de VANT.

Segundo a ANAC (2017), os VANT podem operar, de acordo com os critérios visuais, de três maneiras: operação Além da Linha de Visada Visual (*Beyond Visual Line of Sight* - BVLOS), na qual o piloto não consegue manter o VANT dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador; operação em Linha de Visada Visual (*Visual Line of Sight* - VLOS), na qual o piloto mantém o contato visual direto com o VANT (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos); e operação em Linha de Visada Visual Estendida (*Extended Visual Line of Sight* - EVLOS), na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o VANT com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores. Todas essas operações são exemplificadas na Figura 4.

Figura 4: Tipos de operação de VANT segundo ANAC



Fonte: (ANAC, 2017)

Assim mesmo, para a ANAC (2017), as operações são classificadas de acordo com o propósito de uso do VANT, podendo ser classificadas como experimentais, ou seja, sem fins lucrativos; operações comerciais, quando há contratação de terceirizados para realizar serviços com o veículo aéreo; e operações corporativas, quando a própria empresa ou instituição o utiliza sem fins experimentais.

Requisitos gerais são estabelecidos pela ANAC (2017), tais como a idade exigida ao piloto e observadores, que devem ser maiores de 18 anos, o porte do manual de voo durante a operação, a proibição da operação autônoma, a exigência de seguro com cobertura de danos a terceiros (exceto para órgão de segurança pública ou defesa civil), a proibição de cruzamento de fronteiras com o VANT, a permissão de voo apenas quando em áreas distantes de terceiros (exceto para órgão de segurança pública ou defesa civil) e o cadastro da aeronave junto a Anatel.

Porém, critérios como a exigência de registros dos voos junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA); limitações em relação a voos sobre áreas urbanas e aglomerados rurais; tipo de registro da aeronave (Certificado de Matrícula Experimental, Certificado de Matrícula ou apenas Cadastro junto à ANAC); aprovação do projeto de VANT; necessidade de Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE); necessidade de certificado de aeronavegabilidade especial; e necessidade de apresentar à ANAC uma Declaração de Inspeção Anual de Manutenção (DIAM), variam de acordo com o tipo da operação e a classe do VANT (ANAC, 2017). Assim, particularmente para a Classe 3, os principais requisitos legais segundo a ANAC são apresentados resumidamente no Quadro 5.

Quadro 5: Requisitos da ANAC para VANT Classe 3

REQUISITOS	VLOS		BVLOS	
	Até 120m	> 120m	Até 120m	> 120m
Aeronavegabilidade	Cadastro	Registro	Registro	Registro
Licença/ habilitação piloto	✗ Não	✓ Sim	✗ Não	✓ Sim
CAVE - Certificado de Autorização de Voo Experimental	✗ Não	✓ Sim	✗ Não	✓ Sim
Homologação e cadastro da aeronave na ANATEL	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Certificado Médico	✗ Não	✗ Não	✗ Não	✗ Não
Pilotos e observadores com 18 anos cumpridos	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Pilotos e observadores com no mínimo, ensino médio completo	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Operação autônoma	✗ Não	✗ Não	✗ Não	✗ Não
Seguro contra danos a terceiros	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Operar a uma distância maior de 5 quilômetros (raio) de aeroportos, aeródromos	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Operar a uma distância de 30 metros de terceiros (exceto pessoas envolvidas e anuentes)	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim	✓ Sim
Operar em área urbana (até 60 m)	✓ Sim	✗ Não	✓ Sim	✗ Não

Fonte: (ANAC, 2017)

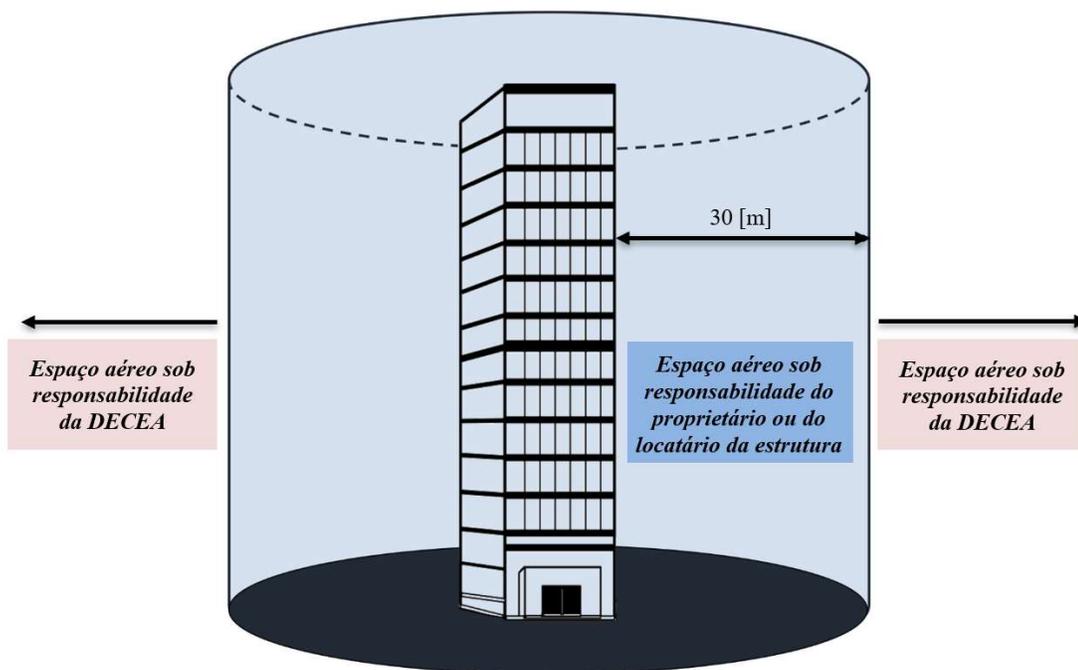
Do mesmo modo, o DECEA, através da Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA 100-40), deu sua contribuição ao regulamentar os procedimentos e as responsabilidades necessários para o acesso seguro ao espaço aéreo brasileiro com VANT (BRASIL,2015a). Estabeleceu que não é permitido sobrevoar prisões, instalações militares ou outras infraestruturas críticas para o governo brasileiro, além de outras condições aplicáveis ao VANT Classe 3, resumidamente apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Condições da DECEA para VANT Classe 3

VANT Classe 3 com Peso Máximo de Decolagem (PMD < 2 Kg)	VANT Classe 3 com Peso Máximo de Decolagem (2 ≤ PMD < 25 Kg)
<ul style="list-style-type: none"> • O voo deverá ser realizado em área segregada; • Ter a documentação específica do VANT considerada necessária e emitida pela ANAC; • Operar em condições meteorológicas visuais (VMC); • Voar até 30 metros (100 pés) de altura acima do nível do solo; • Realizar operação VLOS, afastado no máximo 300 metros horizontalmente do piloto remoto; • Empregar Velocidade máxima de 30 Km/h; • Manter-se afastado 5,6 quilômetros (3 milhas náuticas) de aeródromos cadastrados e rotas conhecidas de aeronaves e helicópteros; • Estar, sua projeção vertical no solo, afastada pelo menos 30 metros de prédios, casas, construções, veículos, animais, etc.; • Estar, sua projeção vertical no solo, afastada pelo menos 30 metros de concentração de pessoas que não estejam associadas à operação; • Operar o VANT somente no período diurno em todas as fases da operação; • Não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas; • Não realizar voo acrobático. <p>Nota: caso ultrapassar 30 metros (100 pés) de altura acima do nível do solo, as condições para PMD (2-25 Kg) entrarão em vigor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O voo deverá ser realizado em área segregada; • Ter a documentação específica do VANT considerada necessária e emitida pela ANAC; • Operar em condições meteorológicas visuais (VMC); • Voar até 120 metros (400 pés) de altura acima do nível do solo; • Realizar operação VLOS, afastado no máximo 500 metros horizontalmente do piloto remoto; • Empregar Velocidade máxima de 60 Km/h; • Manter-se afastado 9,3 quilômetros (5 milhas náuticas) de aeródromos cadastrados e rotas conhecidas de aeronaves e helicópteros; • Estar, sua projeção vertical no solo, afastada pelo menos 30 metros de prédios, casas, construções, veículos, animais, etc.; • Estar, sua projeção vertical no solo, afastada pelo menos 30 metros de concentração de pessoas que não estejam associadas à operação; • Operar o VANT somente no período diurno em todas as fases da operação; • Não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas; • Não realizar voo acrobático.

Fonte: (DECEA, 2015)

Com relação ao uso de VANT na proximidade de obstáculos, a DECEA criou a regra específica ao incorporar à norma o princípio da “sombra”, conceito que pode ser definido como um volume compreendido em uma distância máxima específica de obstáculos naturais ou artificiais até o limite vertical da estrutura, exemplificado na Figura 5. Assim, no item 11.2.3 da ICA 100-40 (DECEA, 2015), esse assunto foi tratado de forma categórica ao não considerar “espaço aéreo” sob responsabilidade do DECEA o volume compreendido nos 30 metros do entorno de uma estrutura. Estabeleceu, ainda, que o uso desse espaço seria de responsabilidade do proprietário ou do locatário da estrutura, os quais deverão autorizar ou não o uso do espaço, sem afastar a obrigação do operador de cumprir as regulamentações da ANAC e da ANATEL.

Figura 5: Princípio da sombra de acordo a ICA 100-40

Fonte: Autor (2020)

Diante das possibilidades criadas por essa norma, o serviço de inspeção de fachadas de edificações com VANT se tornou legalmente possível, desde que autorizado pelo responsável da edificação e, operando a aeronave dentro do volume compreendido no princípio da sombra da estrutura. Ainda, prevendo sempre um afastamento de 5,6 quilômetros de aeródromos registrados.

Com essa viabilidade legal, só resta o desenvolvimento da metodologia para a captura de ativos visuais que atendam requisitos técnicos de acurácia e de precisão adequados para o intuito de detecção de manifestações patológicas. Com isso, é importante introduzir os conceitos básicos de fotogrametria digital que são discutidos em seguida, os quais são essenciais para captura de imagens aéreas com qualquer tipo de aeronave.

4 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Neste capítulo são abordados os conceitos básicos sobre a fotogrametria digital, bem como as fases que a compõem e a técnica atual comumente empregada nos softwares de fotogrametria digital disponíveis no mercado. Também são abordados conceitos importantes sobre os produtos da fotogrametria digital necessários para o presente trabalho, nesse sentido, são tratadas as fotografias ortorretificadas, os ortomosaicos, e para a exibição de manifestações patológicas, apresenta-se uma breve descrição dos mapas de danos.

4.1 Definição e características gerais

De maneira introdutória e sucinta, a fotogrametria, de acordo com Melo Jr. (2016), abrange os métodos de medição e interpretação de imagens com a finalidade de obtenção da forma ou localização de um objeto a partir de uma ou mais fotografias do mesmo. Dentre os aspectos a serem destacados, faz-se importante inferir que na primeira fase de desenvolvimento a restituição fotogramétrica era realizada utilizando-se métodos gráficos com base na geometria projetiva, até alcançar, atualmente, a fotogrametria digital.

A palavra fotogrametria é originada de três palavras gregas: *photos*, *gramma* e *metron*, respectivamente, luz, descrição e medida. A Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS*), antiga Sociedade Americana de Fotogrametria (*American Society of Photogrammetry - ASP*), define a fotogrametria como a arte, a ciência e a tecnologia de se obter informações confiáveis de objetos físicos, ambientes urbanos e geografias terrestres por meio do processo de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas e de padrões de energia radiante eletromagnética e outros fenômenos (UAV, 2012).

Em suma, a fotogrametria representa a criação do espaço-objeto (espaço tridimensional), utilizando o espaço-imagem (conjunto de imagens bidimensionais). O sistema bidimensional usado é o da própria câmera com as coordenadas preestabelecidas. O sistema tridimensional é o sistema de coordenadas que formam o terreno, obtidas por meio das imagens bidimensionais. Essas coordenadas podem ser geodésicas (latitude, longitude e altitude) ou cartesianas (X, Y, Z) (MELO JR., 2016). Depois de estabelecidos os dois sistemas, um conjunto de pontos de controle do espaço-objeto são escolhidos e alocados no espaço-imagem, para formar os dados de entrada para mapear um sistema no outro.

Conforme Melo Jr. (2016) e Coelho e Brito (2007), o processamento digital de imagens é utilizado na fotogrametria com o intuito de melhorar a qualidade de visualização, restaurando ou corrigindo distorções. E com o intuito de reconhecer padrões nas imagens e identificar feições.

A fotogrametria pode ser dividida em fotogrametria métrica, que envolve trabalho quantitativo, como a determinação da posição de pontos do terreno, determinação de distâncias, de diferenças de nível, áreas, volumes, entre outros e a fotogrametria interpretativa ou fotointerpretação, em que as imagens são analisadas qualitativamente, com vista à identificação de objetos (COELHO; BRITO, 2007).

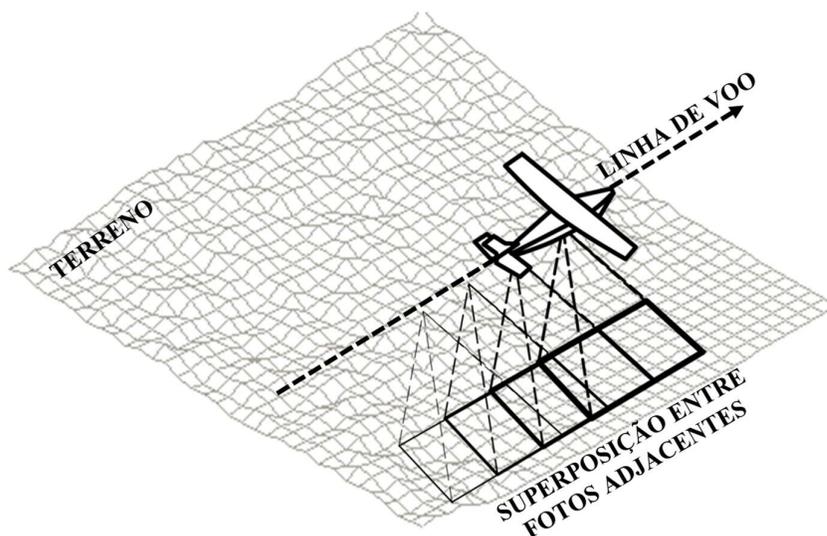
Quanto à classificação da fotogrametria em função da localização da câmera, é normalmente dividida em fotogrametria terrestre e fotogrametria aérea. Por um lado, na fotogrametria terrestre as fotografias são tiradas de pontos fixos de coordenadas conhecidas, por outro, na fotogrametria aérea, as fotografias são coletadas utilizando algum tipo de veículo aéreo como: VANT, avião ou satélite (WOLF; DEWITT, 2000).

Segundo Groetelaars (2015), para a obtenção de um mapa a partir de fotografias é necessária a sobreposição das fotos coletadas. Com a utilização dos procedimentos da fotogramétrica, pode-se obter uma réplica tridimensional do terreno em uma determinada escala, o que permite determinar a posição planimétrica e altimétrica de pontos do terreno, para obtenção de uma informação específica.

Assim, para realizar o levantamento fotogramétrico é necessário fazer o planejamento da aquisição das fotografias. Para a execução de mapas topográficos ou de ortomosaicos utilizam-se normalmente fotografias verticais, em que o eixo da câmera é colocado verticalmente (MELO JR., 2016; GROETELAARS, 2015).

As fotografias são coletadas sucessivamente como exemplifica a Figura 6, de modo que a cada duas fotografias adjacentes seja coberta uma área específica. Esta área é chamada sobreposição, sendo normalmente 60% da área coberta por uma fotografia. A sobreposição lateral acontece quando as fotos são retiradas no sentido contrário do primeiro conjunto de fotos. Por exemplo, se estiver sendo usado um avião, é no caminho de volta no percurso do avião, que essa sobreposição lateral acontece. A escala de uma fotografia aérea depende da distância focal da câmera utilizada e da altura de voo (COELHO; BRITO, 2007).

Figura 6: Procedimento de captura de imagens para fotogrametria



Fonte: Adaptação (COELHO; BRITO, 2007)

4.2 Fases da fotogrametria

Conforme Groetelaars (2015), no processo de levantamento fotogramétrico há três fases principais:

- a. Fase de registro fotográfico: nesta fase são atribuídos dois grupos de parâmetros, o objeto tridimensional (X, Y, Z) e as informações da câmera, como posicionamento, orientação e tipo da câmera fotográfica;
- b. Fase da orientação: embora definida na fase anterior, nesta fase são determinados os parâmetros de orientação e realiza-se por meio da correlação de pontos de controle obtidos em campo, com posições conhecidas nos dois espaços;
- c. Fase da restituição: com os parâmetros de orientação agora conhecidos, o espaço-imagem (X, Y) pode ser transformado em espaço-objeto (X, Y, Z) e, desse modo, dar origem a um novo modelo geométrico, podendo-se obter informações quanto à forma, dimensão, posição e outras, do objeto fotografado.

Do mesmo modo, Coelho e Brito (2007) descrevem que a relação geométrica entre imagem e o objeto pode ser classificada em três categorias: gráfica, usando relações geométricas; analógica, usando os componentes ótico-mecânicos; ou analítico e digital, onde o modelamento é numérico e o processamento é eletrônico-digital, existindo diferentes técnicas para esse processamento, entre elas, a mais comum nos softwares de fotogrametria digital atuais é a Correspondência Estéreo Densa (*Dense Stereo Matching* - DSM).

4.3 Técnica *Dense Stereo Matching*

Dense Stereo Matching (DSM) é um dos termos mais usados para tratar da técnica de obtenção de nuvens de pontos por processamento digital de imagens fotográficas (KOUTSOUDIS *et al.*, 2012). Segundo Groetelaars e Amorim (2012), o DSM foi desenvolvido nos últimos anos a partir de avanços em duas áreas simultaneamente: a Fotogrametria Digital, que está relacionada ao rigor geométrico e à precisão dos resultados, e a Visão Computacional, cujo foco principal está na busca de ferramentas cada vez mais automatizadas, visando o reconhecimento de padrões e a aceleração dos processos de geração de modelos geométricos a partir de fotografias.

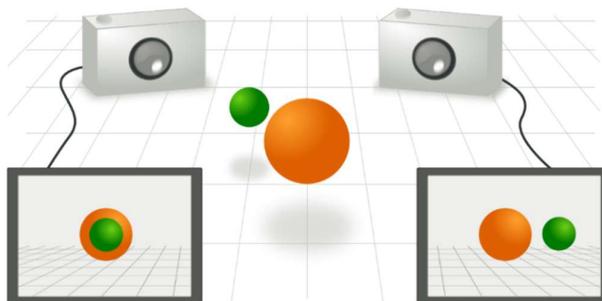
Adicionalmente Silva *et al.* (2014) afirmam que o processamento dos dados adquiridos por digitalização funciona por meio de uma varredura em intervalos regulares, medindo a localização de pontos no espaço, onde a obtenção de intervalos menores entre esses pontos resulta em uma densidade regular da superfície do modelo original, dando origem à nuvem de pontos.

O princípio de funcionamento do DSM consiste na correlação automática de conjuntos de pixels homólogos em fotos distintas (*Smartmatches*) para obtenção das coordenadas tridimensionais de pontos contidos na superfície dos objetos fotografados, gerando assim, o modelo geométrico de nuvem de pontos (TAVANI *et al.*, 2014).

Para que seja possível essa correlação automática, é necessário que existam pelo menos 2 imagens da mesma cena, obtidas de posições diferentes (centros de projeções distintos) tal que, conhecendo a posição, a orientação e a distância focal, é possível encontrar a posição de um ponto no espaço a partir das coordenadas bidimensionais das imagens pelo princípio da geometria epipolar (Figura 7), conseguindo encontrar as relações geométricas entre os pontos 3D a partir de suas projeções nas as imagens 2D (MELO JR., 2016).

Groetelaars e Amorim (2012) agregam que para permitir a eficiente correlação automática, o objeto fotografado deve ter textura não uniforme, de modo a produzir conjuntos diferenciados de pixels (padrões). Se isso não ocorrer, o processo de associação dos pixels entre as fotos pode se tornar inviável ou apresentar um resultado final com muito ruído, com grandes áreas de sombra (sem informações) ou ainda ser pouco preciso.

Figura 7: Caso de uso típico para a geometria epipolar



Duas câmeras tiram uma foto da mesma cena a partir de diferentes pontos de vista. A geometria epipolar, em seguida, descreve a relação entre os dois pontos de vista resultantes

Fonte: (PIÓRKOWSKI, 2008)

Resumidamente, os softwares de fotogrametria digital que usam a técnica DSM baseiam-se nas fotografias digitais, comparando pequenas áreas compostas por conjunto de pixels da imagem digital presentes em duas ou mais fotos que, por sua vez, são formadas pelas texturas ou marcas de contrastes da superfície do objeto ou cena. O processo de comparação segue até o programa encontrar as melhores correspondências entre as imagens (MELO JR., 2016; GROETELAARS; AMORIM, 2012).

Quando as correspondências ótimas ou ideais são encontradas, a informação da posição e orientação computada pelas fotografias é usada para calcular a localização do ponto no espaço, mesmos pontos que servem para a geração de ortofotografias e ortomosaicos a partir da retificação das fotografias originais (TAVANI *et al.* 2014).

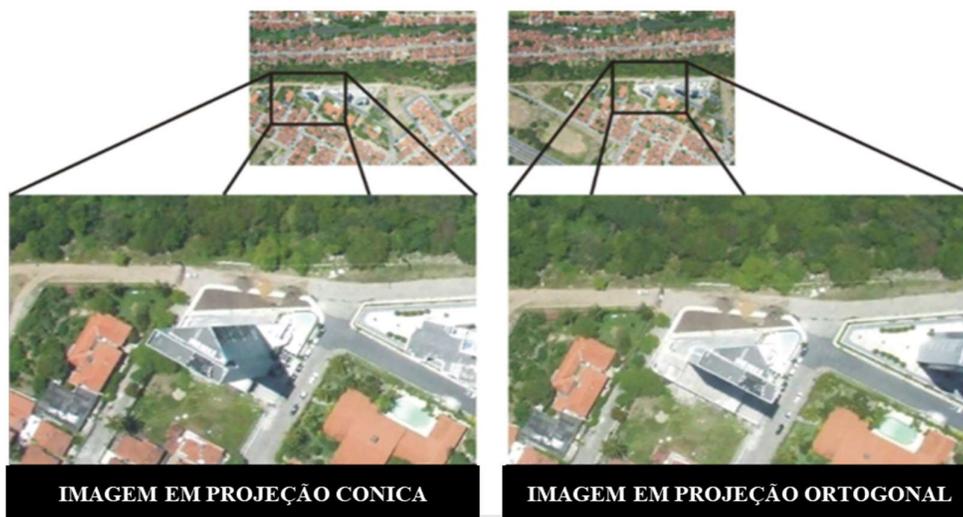
4.4 Ortografia e ortomosaico

Uma ortofotografia é uma fotografia que mostra imagens de objetos em suas posições ortográficas verdadeiras. Segundo Wolf e Dewitt (2000), as ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos, os quais também mostram as posições ortográficas verdadeiras dos objetos.

Melo Jr. (2016) agrega que uma ortofotografia se consegue mediante um conjunto de imagens aéreas (tomadas desde um avião, VANT ou satélite) que tenham sido corrigidas digitalmente para representar uma projeção ortogonal sem efeitos de perspectiva, pela qual é possível realizar medições exatas, ao contrário de uma fotografia aérea simples, que sempre apresenta deformações causadas pela perspectiva da câmera, a altitude ou da velocidade com que se move a câmera.

De modo geral, chama-se de ortoretificação ao processo de correção digital que permite a criação das ortofotografias. Em outras palavras, este processo é essencialmente a transformação de uma fotografia original com projeção cônica em uma fotografia com projeção ortogonal, onde os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da fotografia foram eliminados (COELHO; BRITO, 2007; WOLF; DEWITT, 2000). Isso é ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Fotografia digital em projeção cônica e ortogonal



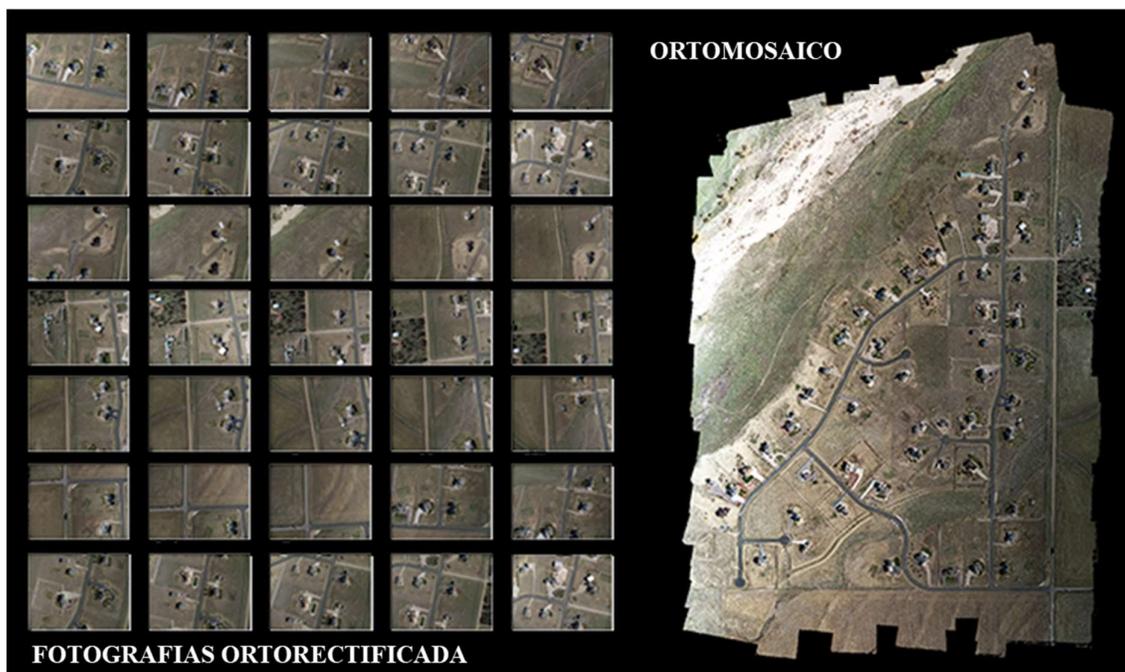
Fonte: Adaptação (WOLF; DEWITT, 2000)

Como foi mencionado, uma ortofoto é uma fotografia que mostra imagens de objetos em suas posições ortográficas verdadeiras. As ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos, os quais também mostram as posições ortográficas verdadeiras dos objetos.

De modo análogo, a ortofoto é um produto resultante da transformação de uma foto original em uma foto onde os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da fotografia são eliminados. Então um ortomosaico nada é mais que o resultado do processo de aerotriangulação e mosaicagem das ortofotos, como exemplificado na Figura 9 (MELO JR., 2016).

Particularmente para os objetivos do presente trabalho, os ortomosaicos representam potencialmente um recurso de interesse para a inspeção de fachadas, além da possibilidade de exibir as manifestações patológicas, permitiriam a elaboração de mapas de danos das mesmas. Visto que esses ativos visuais são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos, poderiam propiciar a localização ortográfica verdadeira das manifestações patológicas.

Figura 9: Ortofotos para criação de ortomosaico



Fonte: Adaptação (BALDWIN, 2015)

4.5 Mapa de danos

Conforme Tinoco (2009), o mapa de danos é o documento ou conjunto de documentos gráficos e fotográficos que ilustram as realidades de uma edificação numa determinada data e tempo. Essa representação gráfico-fotográfica objetiva ilustrar e discriminar, rigorosamente, todas as manifestações patológicas ou de deterioração da edificação, sintetizando, deste modo, o resultado das investigações sobre as alterações de todos os sistemas e componentes do edifício.

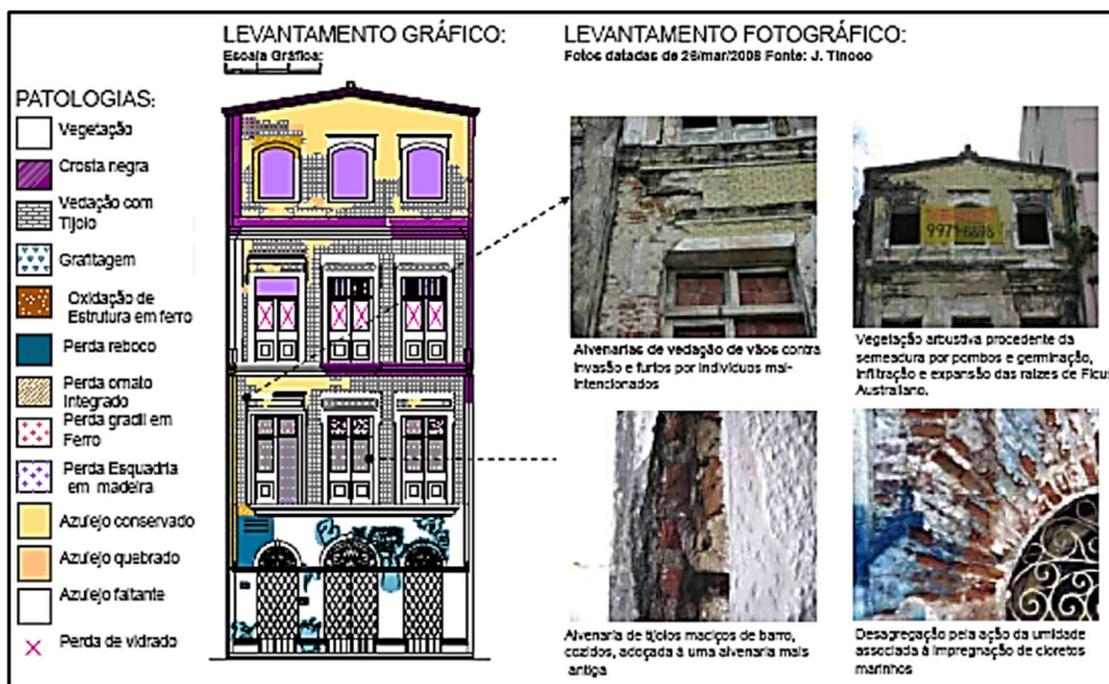
Melo Jr. (2016) e Barthel, Lins e Pestana (2009) definem este documento como um instrumento para a representação gráfica do levantamento dos danos identificados numa edificação, relacionando-os com os possíveis agentes e causas, citando: fissura, degradação por umidade, destacamentos de revestimento, corrosão e outros.

Para Tirello e Correa (2012), estes mapas sintetizam informações do estado atual de conservação geral de um edifício por meio de representações das alterações sofridas pelos materiais e estruturas ao longo do tempo e que seu desenvolvimento é concretizado por meio do registro criterioso das alterações por meio de símbolos gráficos para representar os diversos tipos e níveis de degradação identificados.

Costa (2011) destaca que o mapa de danos é um material ilustrativo contendo a representação dos componentes construtivos (parede, piso, esquadrias, telhado, etc.) e a deterioração manifestada, assim como as informações necessárias para embasar as atividades seguintes de intervenção e consolidação para os projetos de conservação e restauro. Para tanto, este tem como forma de apresentação a sobreposição de elementos gráficos, hachuras, fotografias, índices, cores, letras, e legendas contendo dados sobre as manifestações patológicas no edifício.

Finalmente, Tirello e Correa (2012) ressaltam que, devido à falta de regras ou padrões de representação, há uma liberdade criativa na confecção de mapas de danos por diversos autores em suas tentativas em demonstrar os sistemas e suas diferentes manifestações patológicas. Assim, o mapa de danos é exemplificado na Figura 10, no qual as manifestações patológicas são localizadas no levantamento gráfico ou ortomosaico e exibidas por meio do levantamento fotográfico.

Figura 10: Exemplo de mapa de danos



Fonte: (TINOCO, 2009)

Consolidados os conceitos básicos disponíveis na literatura acerca das manifestações patológicas em fachadas de revestimento cerâmico, veículos aéreos não tripulados e critérios de fotogrametria digital, torna-se oportuna a avaliação do método para o estudo exploratório do procedimento de inspeção de manifestações patológicas com uso de VANT, a partir da metodologia adotada neste trabalho, a qual é descrita no capítulo seguinte.

5 METODOLOGIA

Este capítulo está estruturado em três tópicos, sendo o primeiro relativo aos aspectos conceituais que orientaram a metodologia utilizada nesta pesquisa, e os dois tópicos seguintes descrevem as duas grandes etapas formuladas para consecução dos objetivos, a pesquisa exploratória e a pesquisa experimental.

5.1 Delineamento da pesquisa

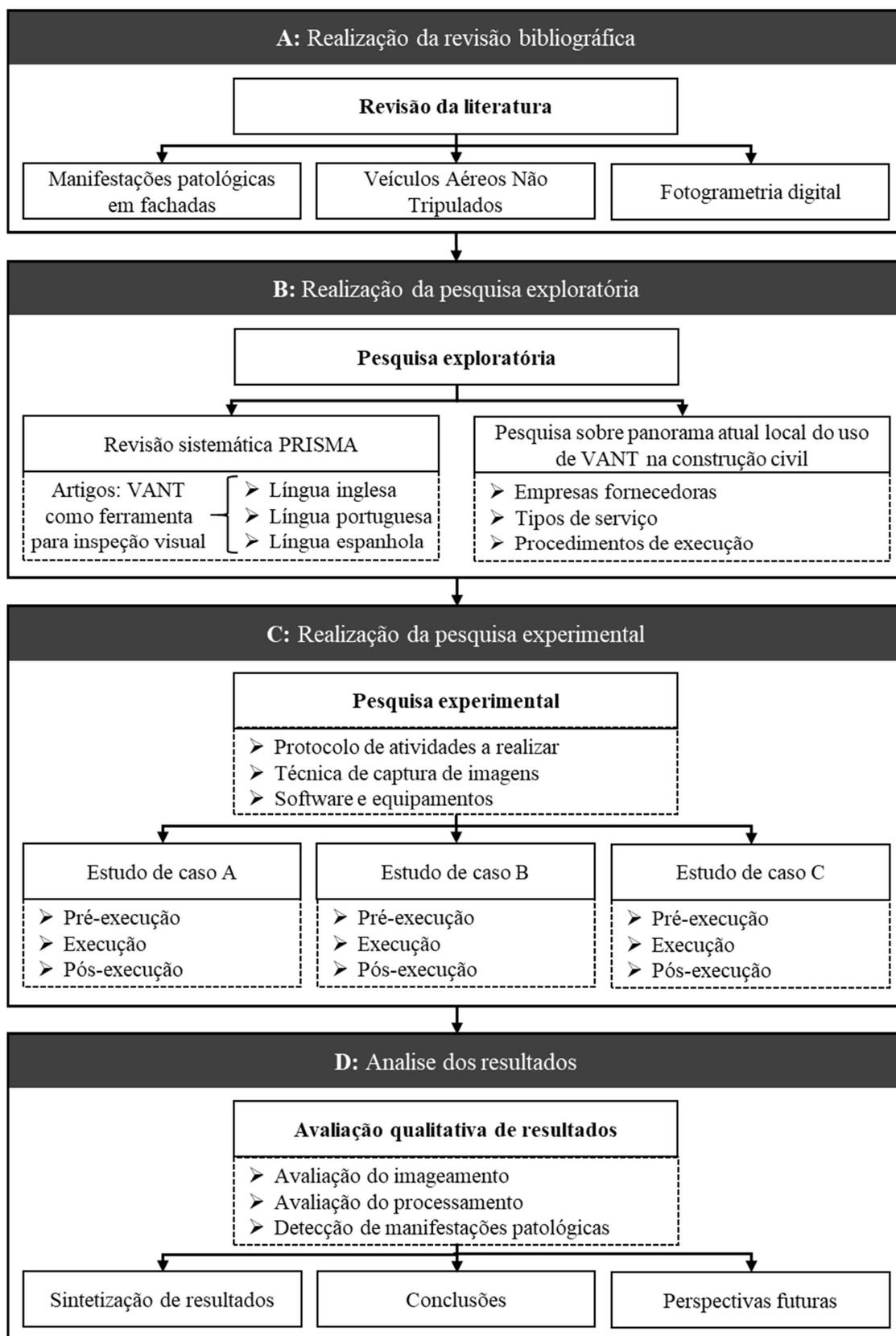
Do ponto de vista da sua natureza, o trabalho classifica-se como pesquisa aplicada, objetivando gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. Adicionalmente, de acordo com a forma de abordagem do problema, classifica-se como pesquisa qualitativa, que segundo Van Aken, Berends e Bij (2012) é caracterizada através de uma abordagem interpretativa, focando-se no caráter subjetivo do objeto analisado, que no caso deste trabalho, é o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edifícios com uso de VANT, pretendendo estudar suas particularidades.

Por conseguinte, a estratégia de pesquisa adotada que melhor se adequa ao presente trabalho é o Estudo Exploratório, visando proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o assunto pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso (GIL, 2002). Geralmente, adota-se o estudo exploratório quando há pouco conhecimento sobre o tema a ser abordado, que é o caso desta dissertação, visto que existe um limitado número de estudos científicos que abordam o uso do VANT como ferramenta para propósitos de inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edificações de mediana e grande altura.

No presente trabalho, a metodologia adotada pode ser dividida em quatro etapas distintas que respondem aos objetivos específicos apresentados, resumidamente, são: elaboração da pesquisa exploratória, realização do estudo experimental, traçado de diretrizes e, identificação dos fatores positivos e barreiras. Essas etapas são desenvolvidas como segue na Figura 11.

Figura 11: Metodologia da pesquisa



Fonte: Autor (2020)

A) Elaborar a revisão bibliográfica com base em consultas a artigos de periódicos e eventos científicos nacionais e internacionais, livros, dissertações, normas técnicas e documentos técnicos relacionados. A revisão bibliográfica envolveu os seguintes temas pertinentes:

- Principais manifestações patológicas detectadas por inspeção visual em fachadas com revestimento cerâmico e sua inspeção.
- Veículos aéreos não tripulados, definição, características gerais e classificação; legislação nacional e internacional pertinente para operação do VANT.
- Fotogrametria digital, descrevendo suas fases, princípios e classificação, com ênfase na aerofotogrametria.

B) Realizar a pesquisa exploratória para investigar e caracterizar o panorama atual local de uso de VANT na construção civil, o método selecionado:

- Elaboração da revisão sistemática considerando as indicações do método Itens de Relatório Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses – PRISMA*), baseada em artigos científicos relevantes e atuais que caracterizam o panorama atual do uso de VANT como ferramenta para inspeção visual (LIBERATI; ALTMAN; TETZLAFF, 2009).
- Pesquisa e caracterização das diferentes empresas fornecedoras dos serviços de vistoria aérea com uso de VANT na cidade de Recife-PE. Seguido do desenvolvimento e aplicação de questionário para caracterização das empresas envolvendo: tipos de serviço disponibilizados, procedimentos de execução, recursos existentes.
- Estudo das etapas de coleta e processamento empregadas pelas empresas, pretendendo avaliar os ativos visuais gerados e a aplicação dos protocolos desenvolvidos.
- Identificação do problema real a ser estudado para o melhor entendimento sobre como o VANT deveria ser aplicado para inspeção de manifestações patológicas de fachadas, seguido do treinamento da tecnologia, assim como a compreensão técnica a fim de determinar as etapas de coleta de dados.

C) Realizar a pesquisa experimental do procedimento de inspeção aplicando as diretrizes e determinando as etapas de processamento dos dados, o método selecionado:

- Identificação e caracterização das atividades do processo de implantação da tecnologia VANT: descrição detalhada das atividades constituintes, dos recursos necessários e dificuldades encontradas.
- Determinação dos parâmetros de coleta dos dados, visando o desenvolvimento do protocolo das atividades a realizar para inspeção de manifestações patológicas de fachadas incluindo planejamento de voo, *checklist* para missão e planilha *Flight Log*.
- Desenvolvimento, implementação, refinamento e validação do protocolo de atividades a realizar para a inspeção de manifestações patológicas de fachadas com o uso do VANT. Analisando e comparando os resultados com as experiências práticas oriundas das referências, buscando estabelecer diretrizes que promovam maiores possibilidades de sucesso na implantação da tecnologia.
- Realização de voos testes em 3 edificações, com o objetivo de coletar dados e imagens com o VANT, a fim de avaliar os ativos visuais gerados e refinar a técnica de captura de imagens.
- Determinação das etapas de processamento de dados e imagens para a geração de modelos digitais 3D usando a técnica *Dense Stereo Matching* (DSM), por meio de software de fotogrametria digital empregado na geração de modelos geométricos.
- Geração de ortomosaicos das fachadas dos edifícios por meio dos recursos de exportação do software de fotogrametria digital, para serem utilizadas na inspeção visual e detecção de manifestações patológicas de fachadas.

D) Análise dos resultados identificando os fatores positivos e barreiras para inspeção de manifestações patológicas de fachadas com utilização de VANT, o método selecionado:

- Avaliação qualitativa das vantagens e desvantagens da utilização do VANT como ferramenta para inspeção de manifestações patológicas de fachadas e, análise dos modelos geométricos 3D e ortomosaicos gerados por processamento digital de imagens.
- Sintetização dos resultados obtidos, apresentando e avaliando vantagens e desvantagens do uso de VANT na inspeção de manifestações patológicas de fachadas, visando vislumbrar perspectivas futuras desta ferramenta na indústria da construção civil.

5.2 Pesquisa exploratória

Conforme o delineamento da pesquisa, logo após a revisão bibliográfica foi realizada a pesquisa exploratória. Para esta pesquisa elaborou-se uma revisão sistemática com o objetivo de realizar uma análise exploratória nas publicações científicas relevantes atualmente. Trabalhos que incluem o uso de veículos aéreos não tripulados como ferramenta de coleta de dados para algum serviço de inspeção ou mapeamento, que resultam de interesse para a análise das boas práticas, contribuindo no entendimento do potencial desta tecnologia e consequentemente auxiliando no desenvolvimento das diretrizes para a inspeção de manifestações patológicas com VANT.

Do mesmo modo, realizou-se a pesquisa exploratória para investigar o panorama atual local de uso de VANT na construção civil, verificando empresas fornecedoras, tipos de serviços e recursos existentes. Investigando os equipamentos e softwares empregados pelas empresas para procedimentos de inspeção, por meio de acompanhamento do serviço e validação em campo, pretendendo observar se as empresas aplicam protocolos estruturados para o procedimento de inspeção.

A seguir, é apresentado o método de desenvolvimento da revisão sistemática para o tópico de inspeção de manifestações patológicas em fachadas com uso de VANT. Assim, a estratégia de pesquisa adotada para a elaboração desta revisão considera as indicações do método PRISMA (LIBERATI; ALTMAN; TETZLAFF, 2009).

5.2.1 Revisão sistemática por método PRISMA

A busca de artigos científicos foi realizada em várias bases de dados, incluindo por exemplo: JCR, SCIELO, SCOPUS, *Web of Science*, *Science Direct*, *ICE Proceedings e Journals*, DRJI e DOAJ. Acessando a elas por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a qual é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza a instituições de ensino e pesquisa no Brasil o melhor da produção científica internacional (CAPES, 2018). A busca avançada foi realizada em julho de 2018, contemplando os artigos publicados até aquela data e através das opções de pesquisa fornecidas pelo portal, pesquisando no “assunto” e no “título” do artigo.

As palavras chave usadas para a busca foram em português: “Inspeção Predial”, “Fachada”, “Manifestação Patológica”, “Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)”, “Mapeamento da Fachada”, “Patologia de fachada”, “Fissuras de fachada”, “Trincas de fachada”, “Umidade em fachada”, “Revestimento de Fachada”; em inglês: “*Building Inspection*”, “*Facade*”, “*Pathological Manifestation*”, “*Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*”, “*Facade Mapping*”, “*Pathology of facade*”, “*Facade cracks*”, “*Facade humidity*”, “*Facade Coating*”; e em espanhol: “*Inspección de fachada*”, “*Fachada*”, “*Manifestación Patológica*”, “*Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)*”, “*Mapeamiento de Fachada*”, “*Patología de fachada*”, “*Fisuras en fachada*”, “*Grietas en fachada*”, “*Humedad en la fachada*”, “*Revestimiento de Fachada*”.

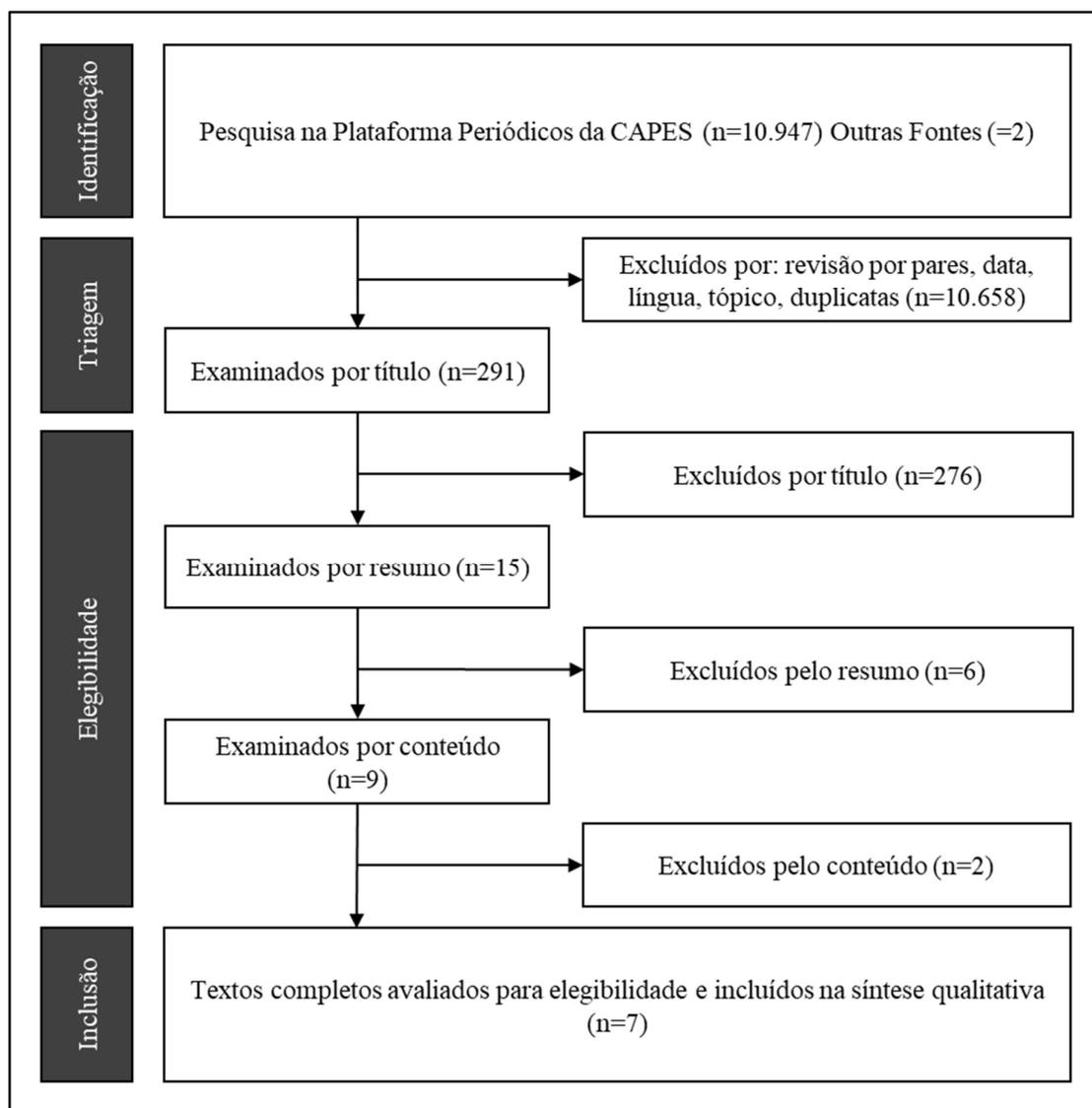
Foram aplicados vários critérios de seleção: (a) Artigos acessíveis no portal de periódicos CAPES para download gratuito; (b) Por pares (trabalhos científicos submetidos ao escrutínio de um ou mais especialistas do mesmo escalão que o autor); (c) Por ano (publicações com no máximo 5 anos de antiguidade, de 2013 até 2018); (d) Por idioma (trabalhos em português, inglês e espanhol); (e) Por tópico (artigos relacionados à engenharia civil, arquitetura e construção); (f) Por duplicatas (trabalhos científicos não duplicados); (g) Por título (excluindo os artigos que não consideram algum tipo de inspeção); (h) Por resumo (excluindo os artigos que não contêm os parâmetros de interesse analisados na revisão); finalmente foram excluídos os estudos de revisão sistemática sem o texto completo disponível e com resumo não disponível.

Realizou-se a extração e sintetização dos seguintes dados: autoria; ano de publicação; cidade de desenvolvimento da pesquisa; modelo do veículo aéreo não tripulado e suas respectivas características; modelo da ferramenta para coleta de dados e suas características, por exemplo câmera e sensores; elemento estudado; métodos de coleta de dados; metodologia do estudo; software de processamento de dados; resultados e conclusões. Com o término das buscas nas bases de dados, foram identificados 10.949 artigos, sendo encontradas com as palavras chave em português 219, espanhol 1.044 e inglês 9.686.

Conforme a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos, foram excluídos 6.472 por pares, 2.809 por ano, 58 por idioma, 1.290 por tópico, 276 estudos pelo título e 10 pelo resumo. Também foram excluídos estudos de revisão sistemática, meta-análises, sem o texto completo disponível e com resumo não disponível. Os estudos passaram por uma verificação de duplicidade que resultou na exclusão de 29, posteriormente mais 10 foram excluídos por não terem dados relevantes para essa revisão.

Após todo o processo de seleção e aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos 7 artigos nesta revisão sistemática (HUNG *et al.*, 2018; IRIZARRY; COSTA, 2016; MADER *et al.*, 2016; MORGENTHAL; HALLERMANN, 2015; REAGAN; SABATO; NIEZRECKI, 2017; VERA, 2016; YANG *et al.*, 2015). Todo esse processo de seleção e aplicação dos critérios de elegibilidade pode ser observado através do fluxograma da seleção dos artigos na Figura 12.

Figura 12: Fluxograma da seleção dos artigos



Fonte: Autor (2020)

5.2.2 Panorama atual local do uso de VANT na construção civil

Para melhor compreensão do panorama atual local de uso de VANT na cidade de Recife, foi realizado um breve levantamento, em jornais e internet, da informação básica das diferentes empresas atuantes na cidade de Recife que utilizam o VANT como ferramenta para geração de recursos visuais. O levantamento procurou verificar as empresas fornecedoras e contratantes, tipos de serviços e recursos existentes.

Produto do levantamento, 9 empresas foram identificadas e selecionadas por estarem ligadas, direta ou indiretamente, ao ramo da fotografia, fotogrametria, levantamento topográfico e monitoramento de obras. Entre elas, 6 das empresas aceitaram participar das entrevistas, que para fins deste trabalho, foram preservadas em anonimato, sendo identificadas como empresa A, B, C, D, E, F.

Para a realização das entrevistas, foi desenvolvido um questionário (Apêndice 1) para a caracterização das empresas abordando 4 tópicos de interesse para a pesquisa exploratória: dados da empresa fornecedora do serviço, dados do responsável do serviço, VANT disponíveis para captura de imagens e, finalmente, dados correspondentes ao planejamento de voo empregado pela empresa.

No tópico relacionado aos dados da empresa, foram coletados os seguintes dados: nome, endereço, fone, e-mail, área de atuação, tempo de atuação, número de obras e certificações. Para a parte relacionada ao responsável do serviço: nome, cargo, fone, e-mail, formação, capacitação para utilização do VANT e verificação de licenças para o uso do mesmo.

Já para a parte relacionada aos recursos existentes, primeiro verificou-se qual o modelo de VANT é utilizado pela empresa, em seguida suas classificações quanto ao: tipo de uso, tipos de asas, peso, autonomia, alcance e tipo de câmera.

Finalmente, o último tópico indaga se o planejamento de voo empregado pela empresa abrange: locais alternativos para pouso e decolagem, condições meteorológicas, utilização de baterias extras, transferência de arquivos a cada pouso, análise de topografia do local, *checklist* de equipamentos, altitude do voo, perímetro do local, região a ser mapeada, velocidade do voo, direção do vento, índice de sobreposição de imagens, software para captura de imagens.

5.3 Pesquisa experimental

Logo após a elaboração da pesquisa exploratória foi executada a pesquisa experimental, que sinteticamente contemplou a realização de voos testes em 3 edificações de mediana e grande altura (estudos de caso), com o objetivo de coletar dados e imagens com o VANT, ressaltando que apenas foi considerado o sistema de revestimento das fachadas na área externa das edificações. Assim, permitindo avaliar os ativos visuais para a detecção de manifestações patológicas no sistema de revestimento cerâmico.

Nesta seção são indicadas as diretrizes empregadas na pesquisa experimental. Essas diretrizes visam estruturar, padronizar e otimizar o procedimento de captura de imagens, permitindo operar com segurança, como também, gerar ativos visuais com maior qualidade e adequados para as especificações particulares dos softwares de fotogrametria digital que utilizam técnicas de DSM.

A seguir, apresenta-se a estratégia adotada para a elaboração da pesquisa experimental, estruturada por meio do protocolo de atividades a realizar e a técnica de captura de imagens com o VANT. Consecutivamente, também são expostos os equipamentos e softwares empregados para a coleta e processamento de imagens das fachadas, e finalmente os critérios de escolha das edificações para os estudos de caso.

5.3.1 Protocolo de atividades a realizar

O desenvolvimento do protocolo das atividades a realizar foi baseado na análise bibliográfica geral e na revisão sistemática PRISMA, observando as boas práticas da aplicação desta tecnologia em diversos procedimentos de inspeção. Como observado em capítulos anteriores, alguns autores vêm aplicando metodologias empíricas efetivas para diferentes tipos de inspeções usando o VANT como ferramenta de captura de imagens e dados (HUNG *et al.*, 2018; PATRIOTA, 2017; REAGAN; SABATO; NIEZRECKI, 2017; MADER *et al.*, 2016).

Em suma, existem estudos com protocolos estruturados para outros tipos de objetivos, como por exemplo o realizado por Del Barrio (2017) na Espanha, orientado à inspeção para reabilitação de estruturas de patrimônio nacional e, o estudo de Entrop e Vasenev (2017) na Noruega, projetando um protocolo para procedimentos de captura de dados com termografia predial. Ambos, embora com orientações distintas ao objetivo deste estudo, agregaram valiosas contribuições para o desenvolvimento do protocolo das atividades a realizar.

No entanto, estudos realizados pelo Instituto de Tecnologia da Geórgia (*Georgia Institute of Technology*), nos Estados Unidos, e pela Universidade Federal da Bahia, no Brasil, referentes a inspeção de segurança em canteiros de obra (ÁLVARES, 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015), apresentam maior adequação para fornecer as diretrizes do protocolo para a inspeção de manifestações patológicas em fachadas. Isto justificado pela implícita similaridade na técnica requerida para coletar fotografias digitais aéreas com VANT, objetivando o processamento computacional das imagens para a geração de ativos visuais 3D e ortomosaicos.

O protocolo desenvolvido consiste em um conjunto de formulários e *Checklists* elaborados ou adaptados conforme as necessidades e particularidades do procedimento de inspeção ao qual o mesmo está alinhado. Portanto, eles auxiliam no planejamento, coleta e processamento de dados no serviço de inspeção com uso de VANT.

Em síntese, o protocolo tem o objetivo principal de estruturar e guiar o procedimento de inspeção da fachada e, conseqüentemente a coleta dos dados em campo e posterior processamento de dados em laboratório. O protocolo para inspeção de manifestações patológicas em fachadas é apresentado na Figura 13, abrangendo as etapas de pré-execução, relativa ao planejamento; a execução, relativa ao levantamento fotográfico; e finalmente, a pós-execução, relativa ao processamento das imagens e a consecutiva análise em busca de manifestações patológicas. Assim, o conjunto de formulários e checklist que auxiliam nas sucessivas etapas do protocolo é descrito na continuação.

Figura 13: Protocolo de atividades a realizar



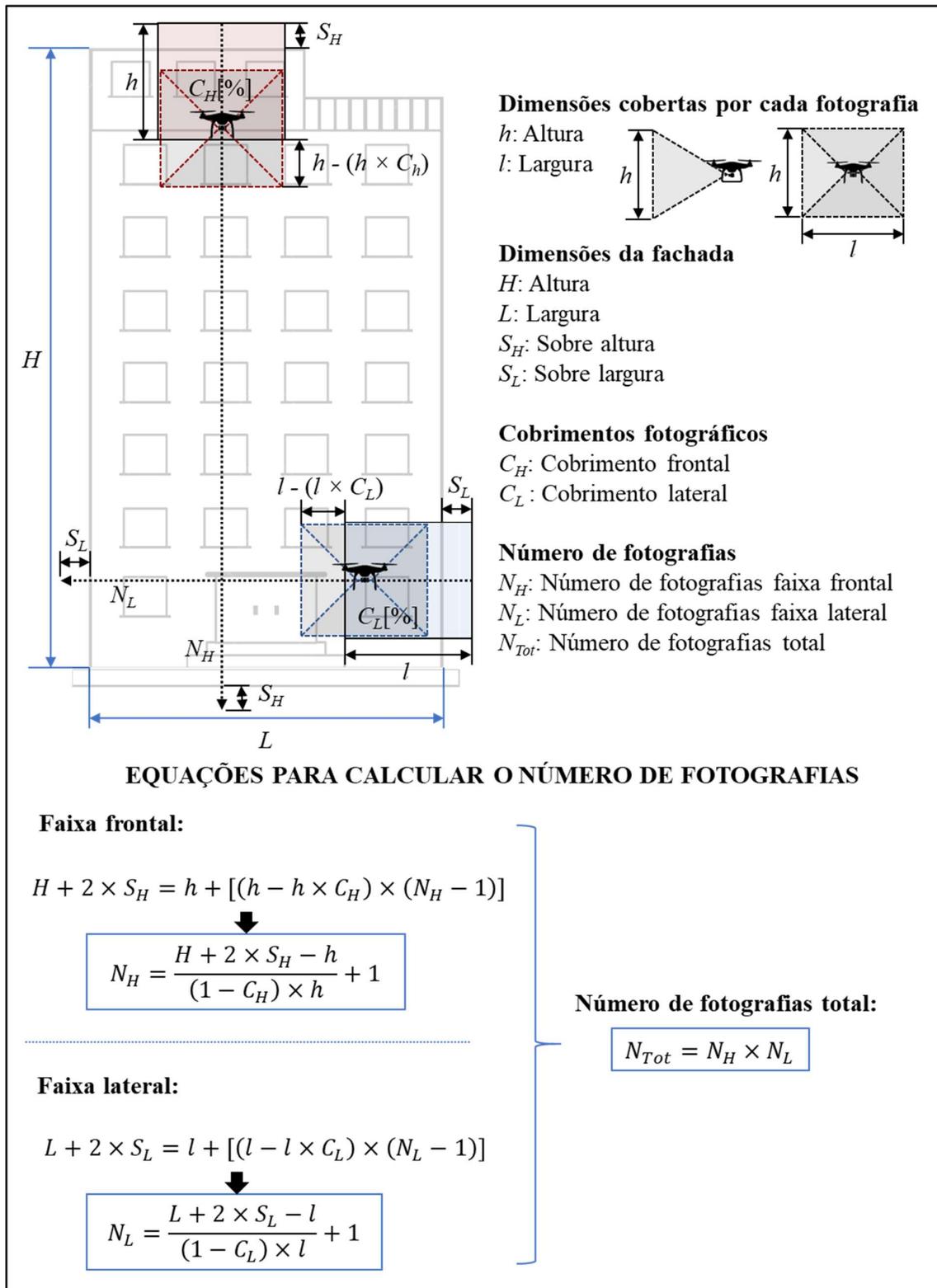
Fonte: Autor (2020)

5.3.1.1 Pré-execução: Formulário de planejamento

O formulário de planejamento foi usado na etapa de pré-execução, permitindo sistematizar a análise do projeto de inspeção da edificação e padronizar o planejamento. Esse formulário é uma guia primordial que determina o fluxo de trabalho e as informações iniciais necessárias para executar o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas com VANT (Apêndice 2). Visa conhecer as informações gerais da edificação, a definição do plano de voo, assim como a definição do plano de captura das imagens aéreas. Subsequentemente, detalha-se as informações que cada uma dessas seções deve conter em sua estrutura (ÁLVARES, 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015).

- A. Informações da edificação: padroniza a coleta de dados concernentes à edificação a ser estudada, considerando informações como o nome da edificação, localização, tipo de uso (comercial, industrial, governamental, estabelecimento de saúde, residencial, acadêmico ou outro), tipo de revestimento da fachada (argamassa, cerâmico, pétreo ou outro), idade da edificação, área construída, altura máxima, número de andares, e finalmente o número de fachadas e sua geometria (altura, largura e área).
- B. Plano de voo: contém os detalhes que compõem o plano de voo, definindo o modelo de VANT a ser usado, o número de baterias requerido para a operação, data e horário do serviço, previsões meteorológicas a considerar (temperatura, chance de chuva, velocidade do vento e visibilidade), tipo de operação (VLOS, EVLOS ou BVLOS), características particulares da localização da edificação (distância de aeroportos, aeródromos, terceiros, instalações militares ou prisões), identificação de obstáculos adjacentes, e do mesmo modo, um croqui do térreo com a identificação das fachadas, possíveis pontos de decolagem e pouso, além de indicar as áreas de interesse que serão recobertas ao longo do procedimento de inspeção.
- C. Plano captura de imagens: a seção final do formulário para planejamento pretende compilar a informação necessária para o plano de captura de imagens das fachadas, abrangendo dados referentes ao modelo de câmera digital do VANT, distância a partir da qual o VANT realizará a captura de imagens, dimensões da fachada coberta por cada fotografia gerada pela câmera (altura e largura), porcentagem de cobertura fotográfica considerado para a ortorretificação e mosaicagem, assim como a determinação do número de fotografias mínimo por cada fachada, calculado pela equação apresentada na Figura 14.

Figura 14: Número mínimo de fotografias por fachada



Fonte: Autor (2020)

5.3.1.2 Execução: Checklist para missão com VANT

O *checklist* para missão com VANT foi usado na etapa de execução do serviço para a preparação do voo, controle, e operações de pouso e decolagem, objetivando estruturar o procedimento de inspeção em campo e tornar o fluxo de trabalho de captura de imagens mais eficiente, considerando requisitos de segurança e o uso apropriado do equipamento (Apêndice 3). O *checklist* abrange todos os procedimentos necessários para operação do VANT em condições adequadas de segurança, preservando a integridade de todos os envolvidos na operação e ao aparelho. Inclui as etapas de cadastro de voo, pré-decolagem, pós-decolagem, pré-pouso, pós-pouso (retomando o voo imediatamente para troca de bateria), e fim de missão. Em seguida, apresenta-se os dados relevantes para cada uma dessas seções (ÁLVARES, 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015).

- A. Cadastro de voo: cadastro de dados técnicos do voo como data, horários de início e término, identificação das fachadas cobertas e o número de imagens capturadas, informação registrada para cada bateria usada.
- B. *Checklist* Pré-decolagem: lista de verificação dos elementos necessários para iniciar o voo, englobando as regulamentações básicas para operação de VANT e padronizando a etapa de preparação de equipamentos.
- C. *Checklist* Pós-decolagem: compreende o teste de manobrabilidade do veículo aéreo, constatando o adequado funcionamento dos comandos e o controle total do aparelho, considerando requisitos de segurança e o uso apropriado do equipamento.
- D. *Checklist* Pré-pouso: lista para conferir os requerimentos mínimos para o pouso da aeronave, referente à adequada visualização da câmera e as condições do local de pouso, registrando toda essa informação para cada bateria usada.
- E. *Checklist* Pós-pouso e retomada de voo imediatamente: lista de verificação que organiza os passos para a retomada de voo, abarcando o desligado do VANT, a troca de bateria, verificação do espaço no cartão de memória, comprovação das conexões com o aplicativo e satélite, e finalmente incluindo elementos de pré-decolagem e pós-decolagem, registrando toda essa informação para cada bateria usada.
- F. *Checklist* Fim da missão: lista de verificação com o intuito de constituir o passo a passo do processo de finalização da missão com o VANT.

5.3.1.3 Pós-execução: Planilha Flight Log

A planilha *flight log* é um registro de dados dos voos que visa sintetizar a relação de todos os dados físicos dos voos realizados (Apêndice 4), registrados no formulário de planejamento e no *Checklist* para missão com VANT, incluindo o local onde foi realizado o voo, data, horário, fase do estudo no qual o voo se enquadra, número de recursos visuais registrados, distância da fachada a partir da qual as fotos foram obtidas, altitude máxima alcançada pelo veículo aéreo e finalmente a duração do voo. Toda esta informação sintetizada é de grande utilidade para posteriormente iniciar a etapa de processamento computacional das imagens (ÁLVARES, 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015).

Todos os formulários antes descritos, são elementos que auxiliam e padronizam o fluxo de trabalho para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas, permitindo um desenvolvimento mais eficiente do trabalho. Porém, é de extrema importância a utilização de uma técnica de captura de imagens adequada, que juntamente com o protocolo, permita a obtenção de dados e imagens de qualidade suficiente para viabilizar a reconstrução digital do edifício num modelo 3D, e conseqüentemente, das respectivas fachadas. Portanto, em seguida é exemplificada a técnica apropriada para capturar imagens visando o processamento digital por meio de softwares de fotogrametria digital.

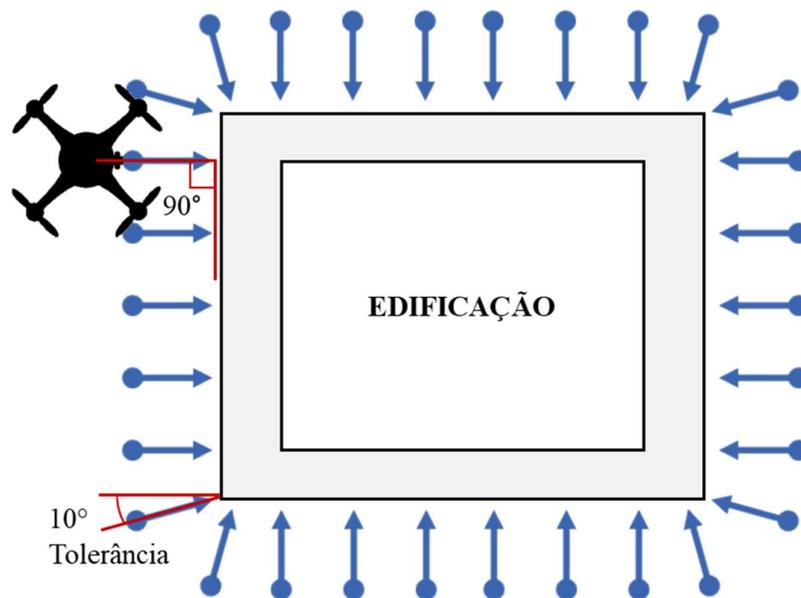
5.3.2 Técnica de captura de imagens

A técnica de captura de imagens com o VANT foi definida baseando-se na premissa de que essas fotografias seriam processadas em softwares de fotogrametria digital. Portanto, foi necessário obedecer a critérios mínimos que permitam a aplicação da técnica de DSM, como por exemplo, a perpendicularidade ao plano a ser estudado.

5.3.2.1 Posicionamento da câmera

Como foi discutido em capítulos anteriores, o VANT de asa rotativa traz a solução para a captura de imagens perpendicularmente ao plano da fachada. Isto é justificado pelas características aerodinâmicas deste veículo e sua grande versatilidade na locomoção vertical e horizontal, que permite o posicionamento propício da câmera incorporada para a captura de fotografias aéreas. Esse posicionamento é retratado na Figura 15, vista em planta, exemplificando a perpendicularidade pretendida do eixo da câmera sobre a fachada fotografada.

Figura 15: Técnica de captura de imagens para uma edificação vista em planta



Fonte: Adaptação (MELO JR., 2016; AGISOFT, 2018)

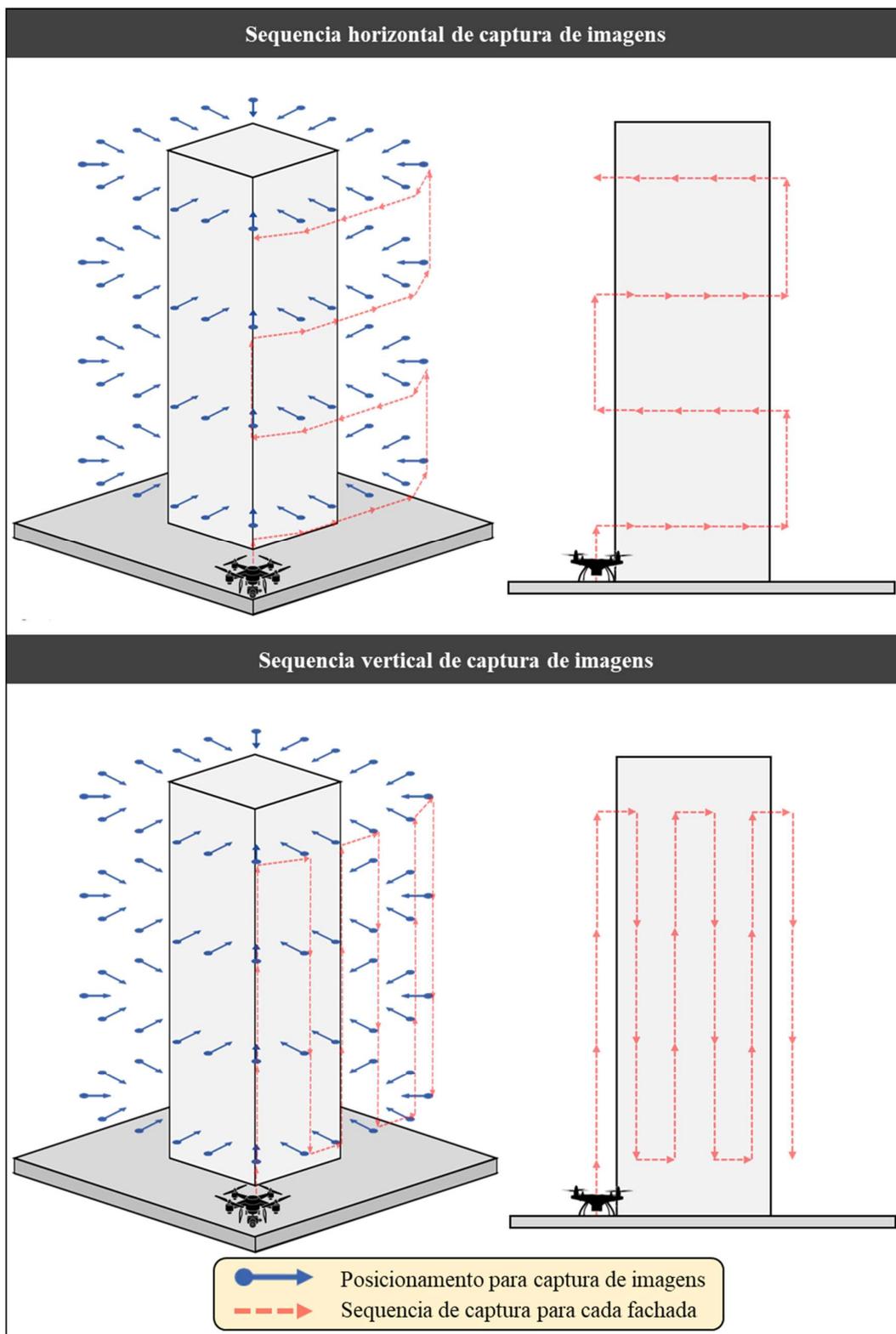
De acordo com Melo Jr. (2016), a principal característica do posicionamento das câmeras para as tomadas fotográficas é o paralelismo entre si, com uma tolerância de até 10 graus, e devem estar sempre perpendiculares ao plano do objeto de interesse. No entanto, Verhoeven (2011) afirma que alguns programas de processamento podem lidar com ângulos de incidência entre 45° e 90°, especificamente o software AGISOFT *PhotoScan*, permitindo assim, processar imagens aéreas verticais e oblíquas baixa.

5.3.2.2 Sequência de captura

Baseando-se nas considerações antes mencionadas, a Figura 16 apresenta a sequência de captura de imagens e o posicionamento da câmera em relação aos planos da fachada de um edifício com múltiplos pavimentos. Assim, a sequência de captura proposta para a pesquisa pode ser horizontal ou vertical, independentemente para cada fachada, adotando-se a que proporciona maior conforto ao piloto conforme critérios de manobrabilidade do VANT e em função dos obstáculos encontrados em campo.

Por um lado, na sequência de captura horizontal as fotografias são coletadas em faixas horizontais, iniciando de esquerda para direita e realizando uma varredura horizontal de toda a fachada. Por outro, na sequência vertical as fotografias são coletadas em faixas verticais, iniciando de baixo para cima com uma varredura vertical da fachada. Em ambos os casos, respeitando o mesmo critério de sobreposição entre cada fotografia.

Figura 16: Sequência de captura de imagens para cada fachada da edificação



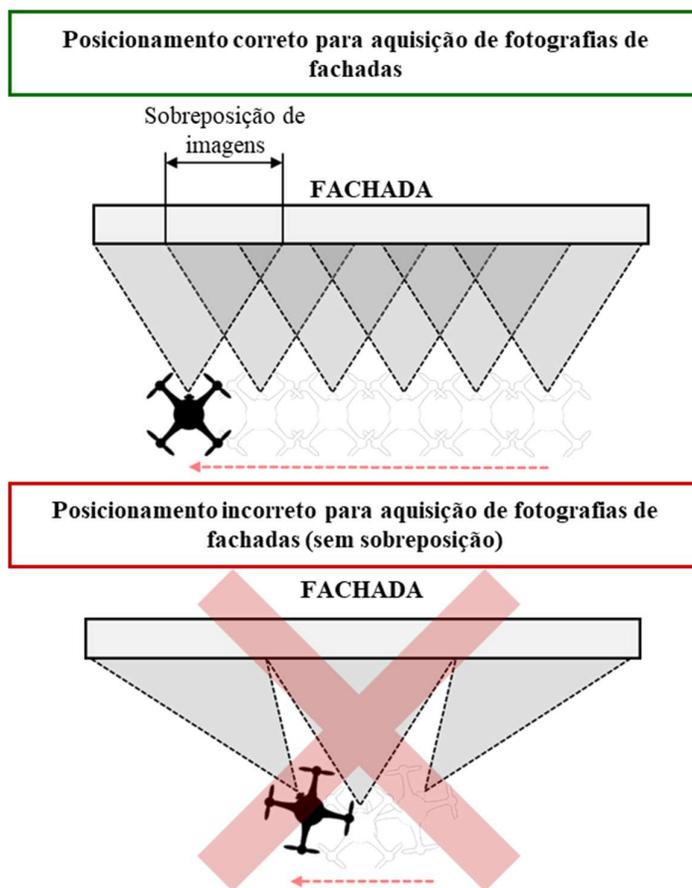
Fonte: Autor (2020)

5.3.2.3 Sobreposição entre fotografias

A sobreposição entre cada fotografia é outro aspecto abordado por Groetelaars e Amorim (2012), enfatizando que cada parte do objeto estudado deverá ser fotografada pelo menos em três posições diferentes. Assim, quando se trata da aquisição de fotografias de fachadas, pretende-se fotografar as diferentes seções pelo menos em três posições diferentes, no sentido vertical ou horizontal. Este aspecto é importante para maximizar os procedimentos referentes às correlações automáticas do software de fotogrametria digital por meio da técnica DSM.

Para garantir essa particularidade, de acordo com Patriota (2017), Melo Jr. (2016), Pierrot-Deseilligny, De Luca e Remondino (2011), deve-se assegurar a sobreposição mínima de 75-80% de uma fotografia para a seguinte, como ilustrado na Figura 17, a fim de possibilitar a detecção automática dos pontos homólogos nas imagens digitais e, conseqüentemente, a orientação da imagem.

Figura 17: Posicionamento das tomadas fotográficas de fachadas



Fonte: Adaptação (AGISOFT, 2018)

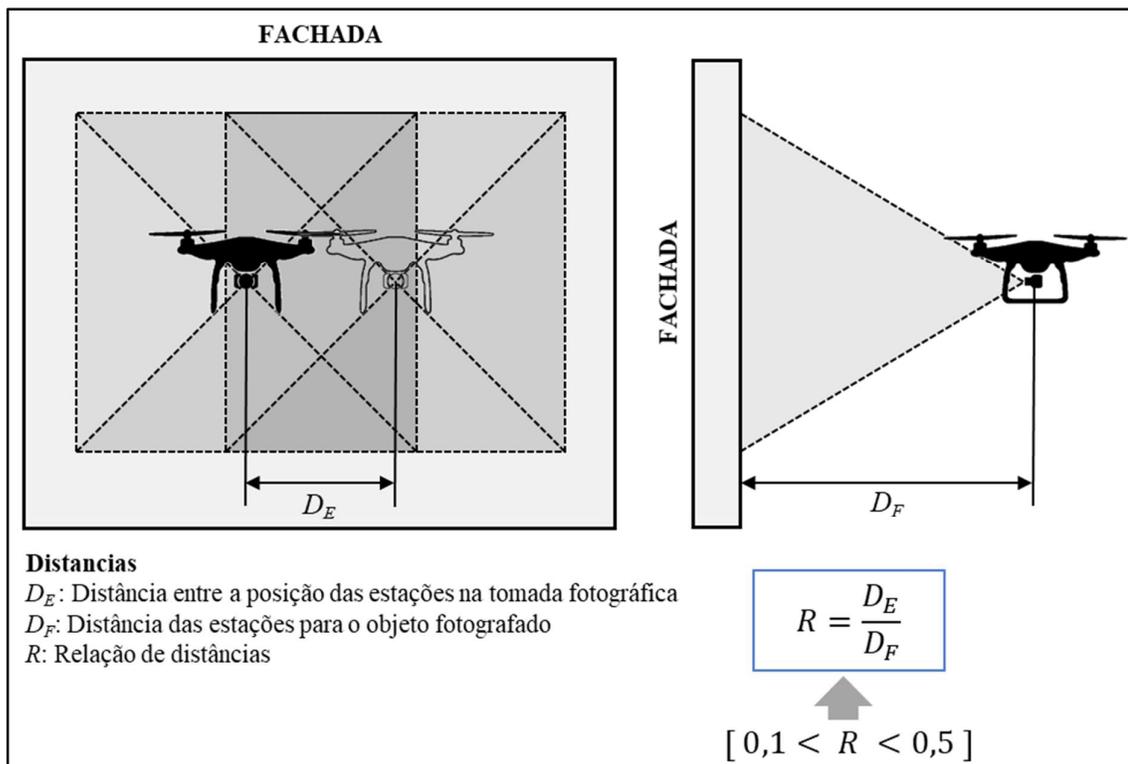
Por outro lado, Amorim, Silva e Christakou (2012) complementam que para reduzir as altas distorções em bordas da imagem, as áreas de sobreposição entre as fotografias devem ser de aproximadamente 60% nos sentidos longitudinal e lateral das faixas de voo do VANT. Entretanto, os desenvolvedores do software AGISOFT *PhotoScan*, recomendam que no caso de fotografia aérea, o requisito de sobreposição deve ser de 60% lateral e 80% frontal, considerando que a posição frontal coincide com a direção da sequência de captura de imagens (AGISOFT, 2018).

Em suma, Koutsoudis *et al.* (2012) e Verhoeven (2011) indicam que o software de fotogrametria digital AGISOFT *PhotoScan* AGISOFT permite a reconstrução digital tendo só como premissa que o mesmo objeto ou cena, ou parte desses, sejam visualizadas somente em duas imagens com centros perspectivos diferentes. Porém, esses autores não mencionam em seus trabalhos os valores de sobreposição entre fotografias necessários para se obter resultados precisos no processamento com o AGISOFT *PhotoScan* AGISOFT. Em conclusão, Verhoeven (2011) afirma que qualquer parte que seja visível em pelo menos duas imagens pode ser reconstruída por esse software.

Outro aspecto relevante abordado por Melo Jr. (2016), Groetelaars (2015), Brito, Groetelaars e Amorim (2012), é que se deve garantir adequada relação da distância entre a posição das estações na tomada fotográfica e a distância das estações para a fachada fotografada. Assim, os autores recomendam que essa relação deve se manter no intervalo inferior de 0,1 e superior de 0,5 como exemplificado na Figura 18, pois se o mesmo for muito pequeno a correlação automática dos pontos é facilitada, mas a precisão geométrica na reconstrução 3D é prejudicada, sendo ocorrido o contrário caso o valor dessa relação seja elevado (PIERROT-DESEILLIGNY; DE LUCA; REMONDINO, 2011).

Por conseguinte, em concordância com os tópicos antes discutidos, os parâmetros adotados para a captura de imagens na pesquisa consideraram áreas de sobreposição entre as fotografias de aproximadamente 75% nos sentidos longitudinal e lateral das faixas de voo do VANT. Do mesmo modo, a distância da estação para a fachada foi de 8 metros, e conseqüentemente, a distância entre as estações na tomada fotográfica foi de 1,8 metros no sentido vertical e 3,2 metros no sentido horizontal, permitindo uma relação de distâncias dentro dos intervalos exemplificados na Figura 18.

Figura 18: Relação de distâncias para tomada fotográfica



Fonte: Autor (2020)

5.3.2.4 Iluminação e sombras

Quanto à iluminação e sombras na captura de imagens, é indicado que se faça o levantamento fotográfico completo da cena, sem alteração das condições de luminosidade (GROETELAARS; AMORIM, 2012). Dessa forma, o mesmo deve ser realizado em um curto espaço de tempo, quando sob condições de iluminação solar, visto que no caso de registros aéreos com VANT é necessário atentar que em dias muito ensolarados há ocorrência de grandes sombras em determinados horários, devendo ser realizado o voo quando o sol estiver alto (COELHO; BRITO, 2007).

5.3.2.5 Equipe para captura de imagens

Finalmente, ressalta-se que na etapa de captura de imagens, para todos os voos, pelo menos três membros da equipe de pesquisa foram envolvidos: o piloto, o observador que guiou o piloto para a coleta de imagens, e um segundo observador que se concentrou na segurança do voo (aproximação à edificações, cabos de alta/média tensão, veículos, aeronaves, pássaros ou outros quaisquer obstáculos que possam pôr em riscos o voo).

5.3.3 Software e equipamentos utilizados

Na sequência, nesta seção são descritos o software de fotogrametria digital e os equipamentos de captura e processamento de imagens, utilizados para o desenvolvimento da pesquisa experimental. Dessa forma, o software de processamento selecionado foi o AGISOFT *PhotoScan*, os equipamentos de processamento são dois computadores disponibilizados as 24 horas do dia no laboratório da Universidade de Pernambuco, e finalmente, o equipamento de captura de imagens corresponde ao VANT de asas rotativas *Phantom 4 Pro*, apropriado para voos ascendentes ou descendentes e que permitiram voos mais próximos às fachadas dos edifícios. Assim, essas escolhas são detalhadas a seguir.

5.3.3.1 Software de fotogrametria digital

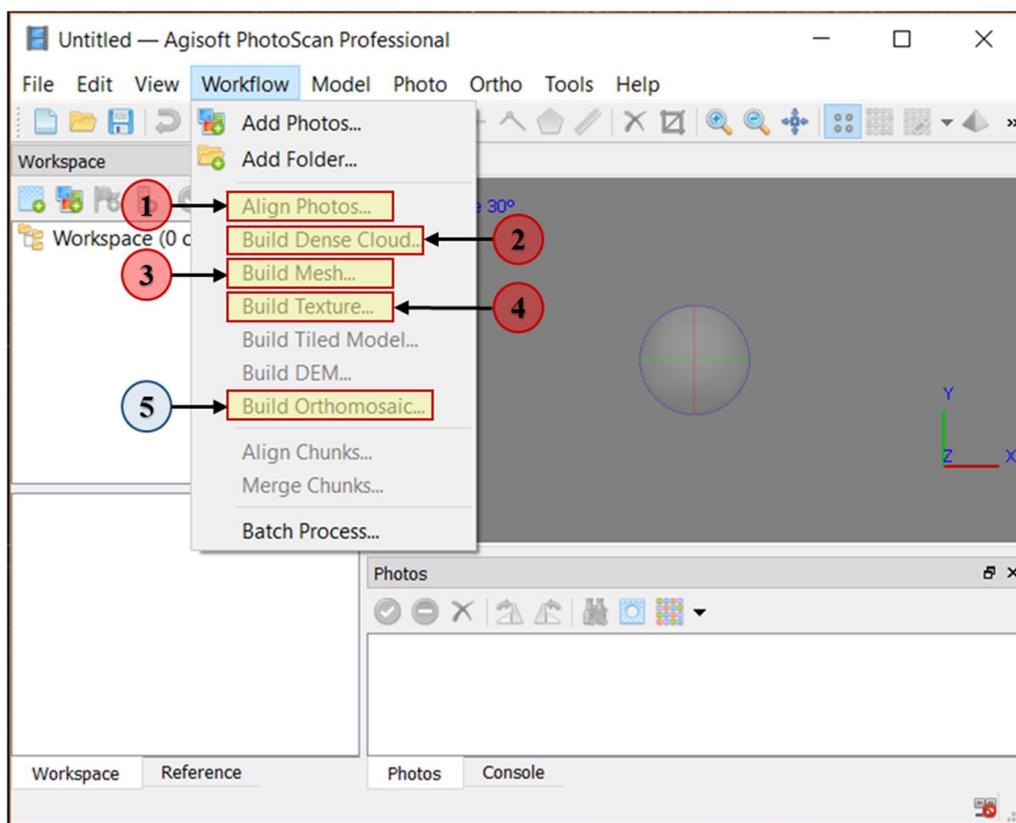
Existem diferentes softwares disponíveis no mercado que permitem a reconstrução digital por meio da técnica DSM, capazes de gerar uma nuvem de pontos que reproduzem a geometria do objeto estudado baseado no processamento de fotografias digitais. Entre todos eles, destacam-se o *Pix4D*, *PhotoScan*, *Microsoft Photosynth*, *ARC3D*, *Bundler*, *Autodesk ImageModeler*, *Photomodeler Scanner* (REAGAN; SABATO; NIEZRECKI, 2017; ÁLVARES, 2016; MELO JR., 2016; SILVA *et al.*, 2014; NEITZEL; KLONOWSKI, 2011).

No entanto, nem todos esses softwares possuem o recurso de exportação de mosaicos ortoretificados, funcionalidade necessária para permitir o mapeamento da fachada, e conseqüentemente, auxiliar na análise em busca de manifestações patológicas, que é o objetivo deste trabalho.

Assim, entre todos os softwares que cumprem esse requisito, estudos realizados por Álvares (2016), Melo Jr. (2016), Melo (2016), Koutsoudis *et al.* (2012) e Verhoeven (2011) enfatizam as vantagens do AGISOFT *PhotoScan*, que se tem apresentado como uma ferramenta de baixo custo, intuitiva e que proporciona modelos digitais com boa qualidade visual.

Por conseguinte, o software selecionado para a etapa de processamento das imagens foi o AGISOFT *PhotoScan*. A seguir são descritas algumas particularidades dessa ferramenta, inicialmente apresentando a sequência do fluxo de trabalho na Figura 19.

Figura 19: Fluxo de trabalho AGISOFT *PhotoScan*



Fonte: Autor (2020)

A versão específica do software da AGISOFT a ser utilizada é o *PhotoScan Professional 1.4.0 build 5076* para sistema operativo *Windows 64 bits*. Ele possui um fluxo de trabalho com etapas bastante definidas e uma interface intuitiva no que diz respeito à operação, que segue a seguinte sequência: alinhamento de imagens (gerando uma nuvem de pontos esparsa); construção da nuvem densa; construção da malha ou *mesh*; aplicação da textura; e construção do ortomosaico.

Em seguida, são descritas brevemente as etapas que compõem a sequência de processamento para geração de modelos 3D e ortomosaicos no software AGISOFT *PhotoScan*:

1. A primeira etapa do processamento é constituída pelo alinhamento das imagens (*Align Photos*), no qual o software busca semelhanças entre as imagens. Essa etapa calcula os parâmetros geométricos, as posições do ponto principal e os parâmetros da rotação das imagens. O resultado final é a geração da nuvem de pontos de amarração ou *Tie Points*. Ela é o produto básico para geração da nuvem de pontos densa, modelos 3D e ponto ligação entre as ortofotos no processo de mosaicagem.

2. Na segunda etapa é construída a nuvem densa de pontos ou *Dense Cloud*, com a filtragem dos pontos não desejados ou ruídos para a geração do Modelo Digital da Superfície (MDS). Assim, a partir das posições estimadas do ponto de captura da imagem, o software calcula as informações de profundidade para cada fotografia para serem combinadas num único ponto da nuvem densa. A qualidade (*Quality*) pode ser alterada, porém quanto maior for a qualidade requerida, maior o custo computacional. No recurso avançado, a filtragem de profundidade (*Depth Filtering*) apresenta as opções Agressivo (*Aggressive*) e Suave (*Mild*). Quando a geometria da cena a ser reconstruída é complexa (com inúmeros pequenos detalhes sobre o plano) e se deseja um processamento detalhado, é recomendado o modo *Aggressive* (AGISOFT, 2018).
3. Na terceira etapa é construída a malha ou *Mesh*, gerada a partir do agrupamento de vértices da nuvem densa de pontos. Dentre os parâmetros requeridos pelo software, citam-se: Tipo de Superfície (*Surface Type*), Dados de Origem (*Source Data*) e Contagem de Faces (*Face Count*). No caso do Tipo de Superfície, opta-se por modelo 3D arbitrário. No modo dos Dados de Origem, pode-se optar pela construção da malha a partir da nuvem de pontos esparsa ou densa, destacando que a nuvem densa possui um nível de informações maior e com mais detalhes. A opção Contagem de Faces permite que se defina a quantidade de faces do modelo e esse número é baseado nas informações da nuvem de pontos densa, para um produto de maior qualidade recomenda-se selecionar o nível mais alto (AGISOFT, 2018). Note-se que a quantidade necessária de faces para um modelo estará relacionada ao nível de detalhamento que se espera do mesmo e quanto maior esse nível, maior também o custo computacional, ou seja, tempo necessário para processamento (MELO JR., 2016).
4. Na quarta etapa, o objetivo é somente aplicar uma textura no modelo tridimensional para melhorar o aspecto visual, objetivando a visualização de manifestações patológicas na fachada. Como parâmetros a serem adotados para essa etapa, listam-se: Modo de Mapeamento (*Mapping mode*), Modo de Mesclagem (*Blending mode*), Tamanho/contagem da Textura (*Texture size/count*). Assim, o Modo de Mapeamento determina como a textura é aplicada ao objeto, entre as opções apresentadas no Quadro 7, Ortofoto Adaptativa (*Adaptive orthophoto*) é especificada para superfícies divididas em partes planas e regiões verticais (fachadas) (MELO JR., 2016).

Por outro lado, o Modo de Mesclagem (*Blending mode*) é a opção como os pixels de diferentes imagens são combinados na textura final, sendo estes: Mosaico (*Mosaic*), permite melhor qualidade à ortoimagem; Média (*Average*), valor da média dos pixels; Intensidade máxima (*Max intensity*), utiliza a foto com pixels de maior intensidade; e Intensidade mínima (*Min intensity*), utiliza a foto com pixels de menor intensidade. Finalmente, o Tamanho/contagem da Textura, determina o tamanho da textura e o número de arquivos para a textura a ser exportada (AGISOFT, 2018).

Quadro 7: Tipos de aplicação de textura AGISOFT *PhotoScan*

Modelos de textura	Indicação
Genérica (<i>Generic</i>)	Permite parametrizar a textura para os tipos de geometrias arbitrárias.
Ortofoto Adaptativa (<i>Adaptative orthophoto</i>)	Neste modo, a superfície do objeto é dividida em partes planas e regiões verticais, em que cada uma recebe a textura separadamente para obtenção da precisão.
Ortofoto (<i>Orthophoto</i>)	A superfície do objeto inteiro é texturizada por projeção ortográfica.
Esférica (<i>Spherical</i>)	Adequado para classe de objetos que possuem formato esférico.
Foto única (<i>Single photo</i>)	Permite gerar a textura a partir de uma única foto selecionada.
Manter uv (<i>Keep uv</i>)	Usado para reconstruir texturas usando diferentes resoluções ou para gerar atlas de texturas para modelos parametrizados em outros programas.

Fonte: (MELO JR., 2016)

- Na quinta e última etapa, para gerar o ortomosaíco inicialmente é realizado o processo de ortorretificação das imagens, onde as feições das imagens são projetadas ortogonalmente, com escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação da câmera. Com as imagens devidamente corrigidas, o software realiza a mosaicagem das ortofotos e cria um único produto. O software AGISOFT *PhotoScan* permite que ortomosaícos sejam exportadas a partir dos modelos gerados anteriormente. Nesta etapa de exportação, pode ser definida a resolução da ortoimagem em função da quantidade de pixels no sentido da maior dimensão da imagem pela opção: Dimensão máxima dos pixels (*Max. Dimension – pix*). Para todas as exportações, o formato de arquivo que foi selecionado é o TIFF - *Tagged Image File Format* (Formato de Arquivo de Imagem com Marcação).

É importante enfatizar que este software permite uma grande faixa de operação quanto à qualidade do resultado final, desde resultados de baixa resolução a resultados de alta qualidade visual, com um custo computacional crescente. Neste sentido, os requerimentos mínimos para utilização do ARGISOFT *PhotoScan* com o sistema operacional *Windows* são de *Windows* XP ou superior (32/64 bits), processador Intel Core 2 Duo ou equivalente e 4 GB de memória RAM. Já a configuração recomendada é *Windows* 7 SP 1 ou superior, processador Intel Core i7 e 16 GB de RAM, permitindo processar até 300-400 fotografias assumindo uma resolução das fotografias da ordem de 10 megapixels (AGISOFT, 2018). O número de fotos que podem ser processadas pelo software depende da RAM disponível no computador, dos parâmetros de reconstrução usados e da resolução das fotografias, que por sua vez depende do equipamento VANT usado para a captura das imagens, tópico abordado a seguir.

5.3.3.2 Hardware para fotogrametria digital

Para a execução do software antes citado e consequente geração de modelos por DSM, foram empregados dois computadores (Figura 20), o primeiro fabricado pela Dell com sistema operacional de 64 bits *Windows 7 Professional*, processador Intel Xeon 1.90 Giga-hertz (2 processadores) e memória instalada (RAM) de 16 GB, e o segundo fabricado pela ACER com sistema operacional de 64 bits *Windows 10 Home*, processador Intel Core i5 2.50-2.71 Giga-hertz e memória instalada (RAM) de 12 GB. Ambos permitem processar até 100-200 fotografias assumindo a resolução das fotografias do *Phantom 4 Pro* da ordem de 20 megapixels (AGISOFT, 2018).

Figura 20: Características computadores usados no estudo experimental

Computado 1	Computador 2
<pre> Console 2019-05-29 20:44:53 Agisoft PhotoScan Professional Version: 1.4.0 build 5076 (64 bit) 2019-05-29 20:44:53 Platform: Windows 2019-05-29 20:44:53 CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2609 v3 @ 1.90GHz (server) 2019-05-29 20:44:53 CPU family: 6 model: 63 signature: 306F2h 2019-05-29 20:44:53 RAM: 15.9 GB 2019-05-29 20:44:54 OpenGL Vendor: NVIDIA Corporation 2019-05-29 20:44:54 OpenGL Renderer: Quadro K2200/PCIe/SSE2 2019-05-29 20:44:54 OpenGL Version: 4.6.0 NVIDIA 391.25 2019-05-29 20:44:54 Maximum Texture Size: 16384 2019-05-29 20:44:54 Quad Buffered Stereo: not enabled 2019-05-29 20:44:54 ARB_vertex_buffer_object: supported 2019-05-29 20:44:54 ARB_texture_non_power_of_two: supported 2019-05-29 20:44:54 Using simple console. Rich console can be enabled in Preferences dialog. >>> </pre>	<pre> Console 2019-05-28 20:21:53 Agisoft PhotoScan Professional Version: 1.4.0 build 5076 (64 bit) 2019-05-28 20:21:53 Platform: Windows 2019-05-28 20:21:53 CPU: Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2019-05-28 20:21:53 CPU family: 6 model: 142 signature: 806E9h 2019-05-28 20:21:53 RAM: 11.9 GB 2019-05-28 20:21:56 OpenGL Vendor: NVIDIA Corporation 2019-05-28 20:21:56 OpenGL Renderer: GeForce 940MX/PCIe/SSE2 2019-05-28 20:21:56 OpenGL Version: 4.5.0 NVIDIA 376.54 2019-05-28 20:21:56 Maximum Texture Size: 16384 2019-05-28 20:21:56 Quad Buffered Stereo: not enabled 2019-05-28 20:21:56 ARB_vertex_buffer_object: supported 2019-05-28 20:21:56 ARB_texture_non_power_of_two: supported 2019-05-28 20:21:56 Using simple console. Rich console can be enabled in Preferences dialog. >>> </pre>

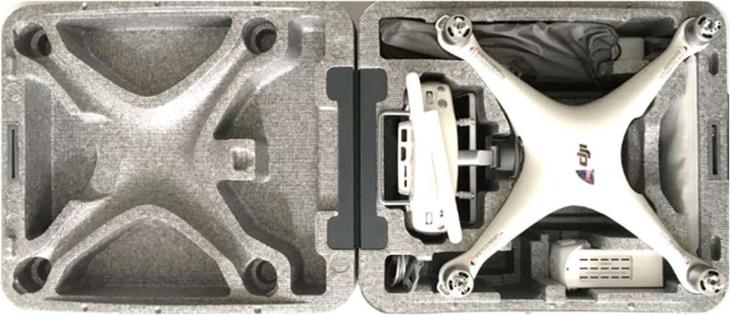
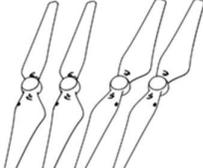
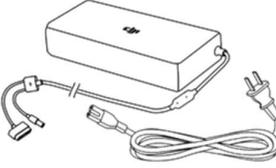
Fonte: Autor (2020)

5.3.3.3 Veículo Aéreo Não Tripulado

O equipamento selecionado para o desenvolvimento da pesquisa foi o *Phantom 4 Pro V 2.0* fabricado pela DJI (Figura 21). A escolha é fundamentada pela confiabilidade e bons resultados expostos na experiência piloto de diferentes autores (HUNG *et al.*, 2018; ÁLVARES, 2016; MELO JR., 2016; MELO, 2016; IRIZARRY; COSTA, 2016), com equipamentos iguais ou similares do mesmo fabricante.

Por outro lado, a escolha deste equipamento também se justifica pelo fato de ser uma tecnologia acessível, amplamente comercializada no mercado brasileiro, situação que pode promover maior facilidade de incorporação da mesma pelo setor da construção civil, pelas construtoras e empresas de consultoria com serviços de inspeção ou monitoramento de edificações.

Figura 21: Equipamento VANT utilizado

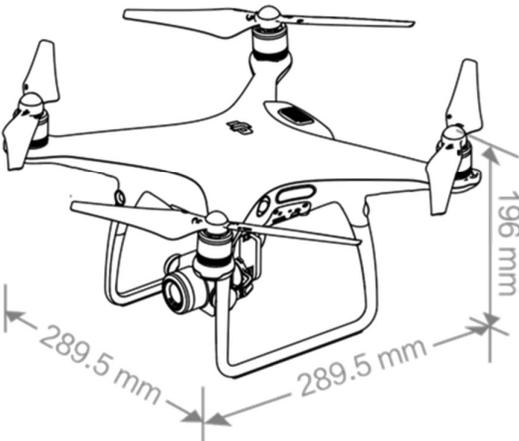
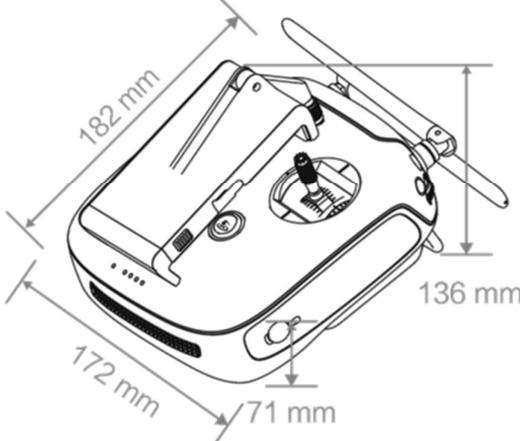
FOTOGRAFIA DO EQUIPAMENTO USADO		
		
VANT	Controle remoto	Pares de hélices
		
Bateria de voo inteligente	Carregador de bateria	Cartão de Memória microSD
		

Fonte: Adaptação (DJI, 2018)

O DJI *Phantom 4 Pro V 2.0* é um VANT do tipo quadricóptero (sustentado por quatro asas rotatórias), de acordo com a legislação brasileira enquadra-se dentro a classificação RPAS Classe 3 (ANAC, 2017). O tipo de sustentação deste veículo aéreo permite proporcionar maior estabilidade durante os voos de coleta de imagens para inspeção, além de não demandar muito espaço para a decolagem e pouso, visto que, espaços livres dentro de edificações urbanas são muitas vezes restritos.

Entre outras características, este VANT é um equipamento leve pesando 1.375 gramas, fácil de transportar e relativamente pequeno com dimensões apresentadas na Figura 22. Está equipado com uma bateria inteligente que proporciona autonomia máxima de 30 minutos de voo. É operado por controle remoto com display HD de alta iluminação, associado a dois aplicativos de comando (DJI *Go app* e *Pix4D Capture*). Possui um estabilizador (*gimbal*) com faixa angular controlável de -90° a $+30^{\circ}$ e, câmera digital incorporada com sensor de 1" CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor* - Semicondutor Óxido Metálico Complementar) e autofoco, permitindo uma resolução de 20 megapixels efetivos que registra fotos no formato JPEG e DNG e vídeos em MP4 (DJI, 2018).

Figura 22: Dimensões VANT DJI *Phantom 4 Pro V 2.0*

VANT	Controle remoto
	

Fonte: Adaptação (DJI, 2018)

Os aplicativos de comando DJI *Go app* e *Pix4D Capture*, auxiliam na captura de imagens e possibilitam o controle e monitoramento dos diferentes parâmetros de voo, como altitude da aeronave, sua velocidade, posicionamento GPS, distância à fachada, número de satélites em conexão com o VANT, nível de bateria, alarmes dos sensores de proximidade, entre outros, bem como acompanhamento em tempo real da câmera incorporada ao VANT, permitindo visualização de tudo o que está sendo registrado pela mesma.

O quadricóptero alcança até cerca de 1.500 metros de altura (5.000 pés), no entanto, ele vem de fábrica com um dispositivo que limita a altitude de voo até 120 metros, de acordo com o estabelecido em normas regulamentadoras (ANAC, 2017). Esse dispositivo também reconhece algumas zonas proibidas para voos denominadas como *No Fly Zone*, por exemplo, são áreas dentro de um raio inferior a 5 quilômetros de certos aeroportos cadastrados no sistema da aeronave, como é o caso do Aeroporto Internacional de Recife – PE: Aeroporto Internacional Gilberto Freyre (DJI, 2018).

Em suma, o DJI *Phantom 4 Pro V 2.0* também possui alguns dispositivos de segurança, como a função *Return to Home*, que no caso de perda da conexão com o dispositivo de controle, permite à aeronave retornar ao ponto de decolagem, sendo possível devido ao sistema de comunicação e navegação GPS incorporados neste equipamento (DJI, 2018). Assim, a soma de todas as características do equipamento abordadas nesta seção, apresentam um panorama favorável que viabilizou a realização da pesquisa experimental nas diferentes edificações selecionadas para os estudos de caso. A seguir apresenta-se as edificações e os critérios contemplados na escolha das mesmas.

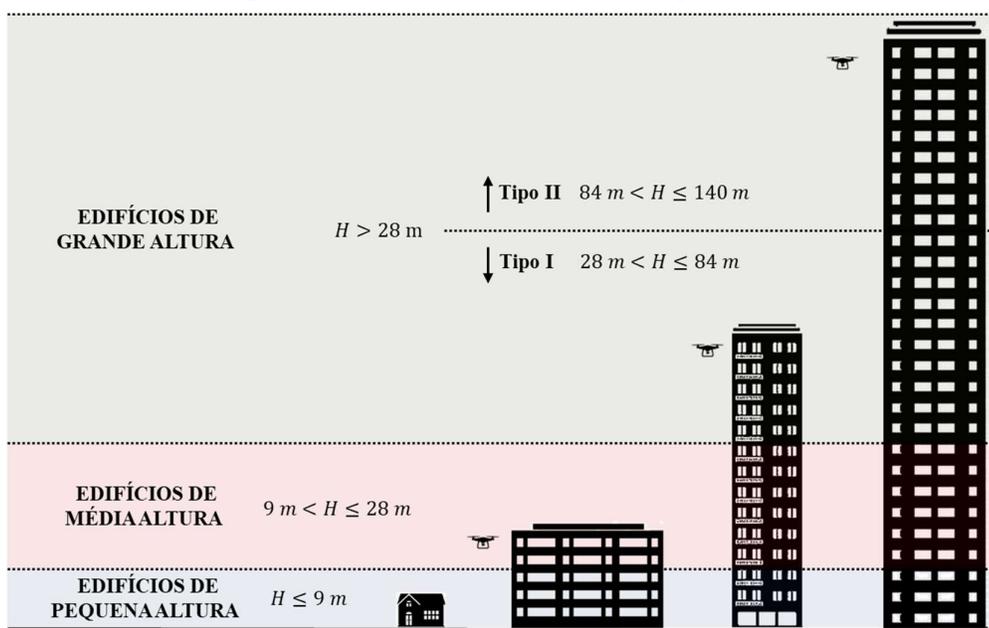
5.3.4 Escolha de edificações para estudos de caso

A escolha das edificações para a realização do estudo foi efetuada na área urbana de Recife-PE, considerando os critérios legais estabelecidos pela ANAC, discutidos em capítulos anteriores. Entre eles, foi observado que as edificações escolhidas permitam a operação do VANT em distância maior de 5 km de raio de aeroportos, aeródromos, heliporto cadastrados, sem sobrevoar prisões, instalações militares ou outras infraestruturas críticas para o governo brasileiro. Do mesmo modo, evita-se a seleção de edificações que, para o procedimento da captura de imagens, envolvam sobrevoar a distâncias inferiores de 30 metros de concentrações de pessoas que não estejam associadas à operação.

Adicionalmente, outro critério para a seleção das edificações é a altura, visto que o uso do VANT para inspeção é justificado principalmente quando se trata de edifícios de média ou grande altura. A classificação de alturas dos prédios é um conceito subjetivo, não existindo consenso a respeito. Existem algumas empresas e organizações internacionais especializadas nesse assunto, como o Conselho de Edifícios Altos e Habitat Urbano (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat - CTBUH*) que divide os edifícios altos em 3 categorias: Mega altos (*Megatall*), altura igual ou superior a 600 metros (1.968 pés); Super altos (*Supertall*), entre 600 (1.968 pés) a 300 metros (984 pés); Altos (*Tall*), inferior a 300 metros (984 pés) (CTBUH, 2019).

No entanto, a classificação de alturas das edificações é relativa ao contexto ou entorno. Desta forma, um prédio de 15 andares pode não ser considerado um prédio alto em uma cidade alta como Chicago ou Hong Kong, todavia em outras cidades pelo mundo pode ser mais alto do que a norma municipal. Conseqüentemente observa-se que para os propósitos deste trabalho, uma classificação apropriada para o entorno brasileiro pode ser baseada na legislação portuguesa (PORTUGAL, 1999), dividindo as alturas dos edifícios em 3 categorias distintas (Figura 23): baixa altura, inferiores a 9 metros; média altura, entre 9 e 28 metros; e grande altura, superiores a 28 metros. Adicionalmente, levando em consideração os 140 metros de altura da edificação mais alta da cidade de Recife, a categoria de edifícios de grande altura é subdividida em duas subcategorias: Tipo I, entre 28 e 84 metros; Tipo II, entre 84 e 140 metros.

Figura 23: Classificação de edificações por altura



Fonte: Autor (2020)

Para a realização do estudo e aplicação do protocolo de voo, são selecionadas 3 edificações, uma para cada categoria da classificação (edifício de média altura, edifício de grande altura tipo I e edifício de grande altura tipo II), excluindo a categoria de edifícios de pequena altura, que não são considerados o alvo desta pesquisa. Na sequência são apresentados os estudos de caso com os edifícios escolhidos para realizar os trabalhos de campo.

5.3.4.1 Estudo de caso A: mediana altura

Para a categoria de edificações de mediana altura, escolheu-se um prédio de instituição acadêmica (Figura 24) com 4 pavimentos e uma altura total de 16,5 metros. Os dois primeiros encontram-se 8 laboratórios (manufatura avançada, energias renováveis, biotecnologia, sistemas construtivos, optoeletrônica, sistemas ciber-físicos, *data Science*, telemática e visão computacional). O terceiro pavimento possui 9 salas destinadas a empresas que possuam projetos de pesquisa e desenvolvimento com a instituição acadêmicas. O último pavimento concentra toda a área de administração do Instituto, bem como espaço para auditório, salas de reunião e sala de convivência (UPE, 2018).

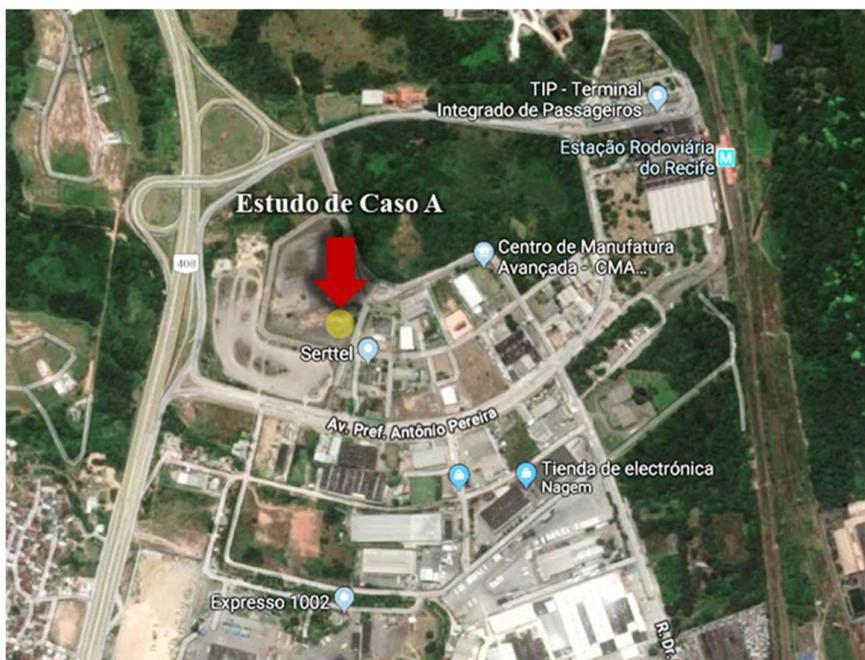
Figura 24: Fotografia aérea estudo de caso A



Fonte: Autor (2020)

A edificação está localizada no PARQTEL (Parque Tecnológico de Eletroeletrônicos) de Pernambuco, no bairro de curado (Figura 25). Esta edificação foi selecionada por suas características geométricas (múltiplas fachadas) e sua localização isolada em relação a outros edifícios na localidade, característica ideal para o primeiro estudo de caso permitindo o treinamento e aperfeiçoamento inicial dos voos com o VANT, assim como a aplicação do protocolo de voo.

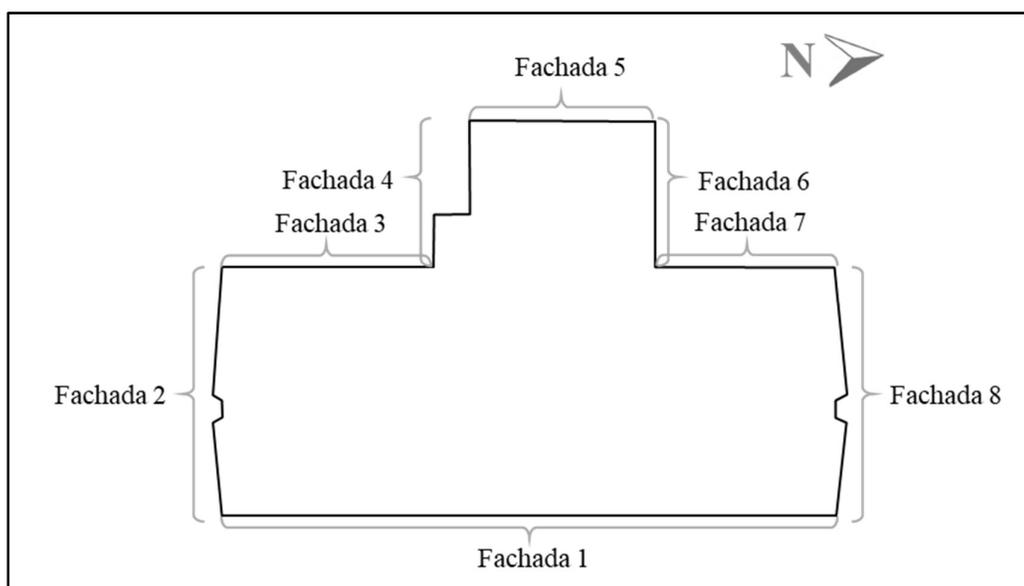
Figura 25: Imagem de satélite localização estudo de caso A



Fonte: (Google, 2019)

Antecedendo os trabalhos de campo, foram colhidas informações atualizadas do local, que incluíram imagens orbitais, croqui do terreno (Figura 26), área aproximada do sítio, fotografias da edificação, altura estimada das construções, além de condições de risco, climáticas, geográficas e de vizinhança.

Figura 26: Croqui do terreno estudo de caso A



Fonte: Autor (2020)

5.3.4.2 Estudo de caso B: grande altura tipo I

Para a categoria de edificações de grande altura (tipo I), escolheu-se uma edificação residencial multifamiliar. O prédio com 60 unidades habitacionais (Figura 27) tem uma altura de 48 metros e possui 16 pavimentos. O primeiro pavimento é semienterrado e os dois primeiros pavimentos são destinados a estacionamento. Os seguintes 12 pavimentos são apartamento com 5 unidades por andar. O último pavimento concentra as áreas de lazer da edificação (piscina, salão de festas, churrasqueira e sala de ginástica).

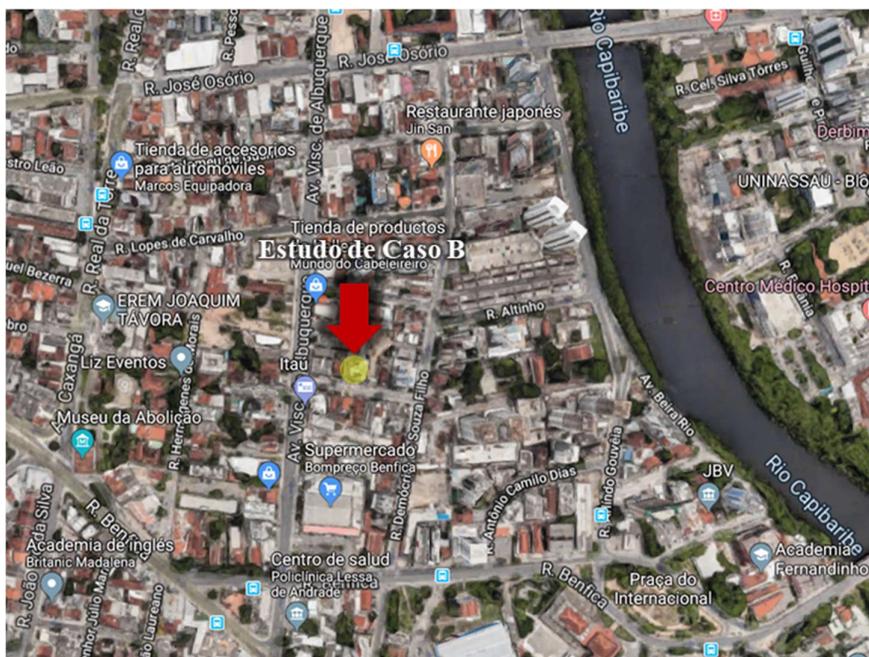
Figura 27: Fotografia aérea estudo de caso B



Fonte: Autor (2020)

O edifício está localizado no bairro Madalena (Figura 28), preponderantemente residencial, a microrregião alberga 23.082 habitantes numa área de 183 hectares, com uma densidade 126 habitantes/hectare (RECIFE, 2019). Além da altura, esta edificação foi selecionada pelas características da sua localização, rodeada de obstáculos e edificações de diferentes alturas. Particularidades que agrega dificuldade ao procedimento de inspeção com VANT e resultam convenientes para o segundo estudo de caso, permitindo avaliar o desempenho do protocolo de voo e a viabilidade do levantamento fotográfico.

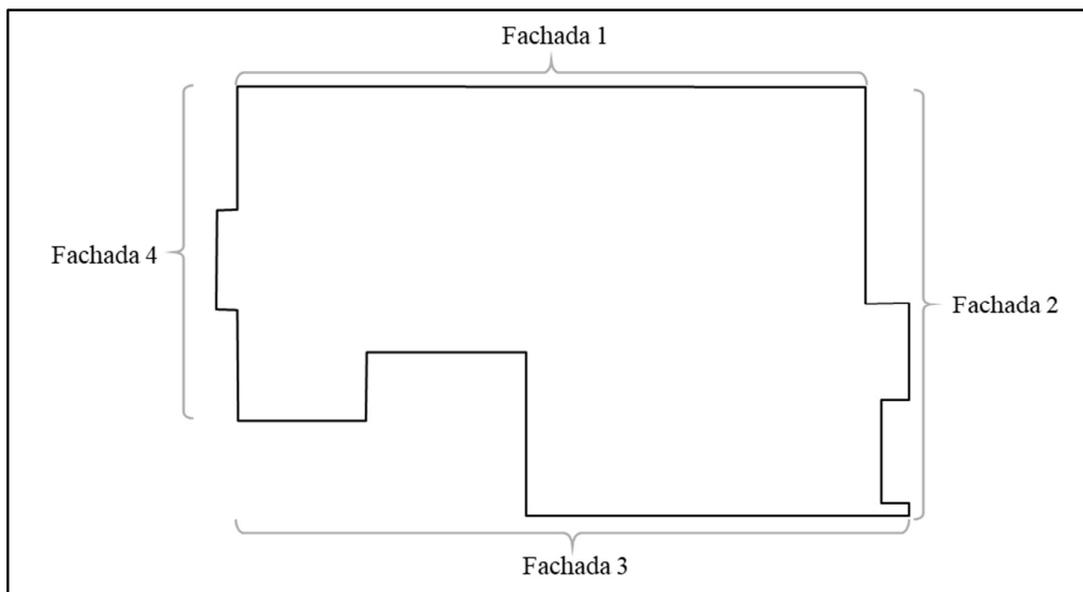
Figura 28: Imagem de satélite localização estudo de caso B



Fonte: (Google, 2019)

Antecedendo os trabalhos de campo, foram colhidas informações atualizadas do local, que incluíram imagens orbitais, croqui do térreo (Figura 29), área aproximada do sítio, fotografias da edificação, altura estimada das construções, além de condições de risco, climáticas, geográficas e de vizinhança.

Figura 29: Croqui do térreo estudo de caso B



Fonte: Autor (2020)

É importante ressaltar que o bairro Madalena apresenta diferentes obstáculos naturais e artificiais, caracterizando-se por ser um lugar amplo com uma grande quantidade de edificações de média e grande altura. No caso do edifício estudado, as edificações adjacentes são consideradas obstáculos importantes que, juntamente com a fiação elétrica pública, árvores e uma rua altamente movimentada, elevam drasticamente a dificuldade do procedimento quando comparada com o primeiro estudo de caso realizado na edificação de mediana altura.

Por conseguinte, foi essencial considerar precauções adicionais antes da execução da operação, entre elas, informar aos moradores sobre os pormenores do procedimento e os riscos do mesmo, obtendo autorização explícita para a execução da missão e para a utilização do espaço aéreo sob responsabilidade do condomínio. Assim, a operação foi baseada na regulamentação ICA 100-40 (DECEA, 2015), abordada em capítulos anteriores, mais especificamente no princípio da “sombra”, operando a aeronave estritamente limitada ao volume compreendido nos 30 metros do entorno do edifício.

5.3.4.3 Estudo de caso C: grande altura tipo II

Para a categoria de edificações de grande altura (tipo II), foi selecionado um residencial multifamiliar. O prédio com 72 unidades habitacionais (Figura 30) tem uma altura de 120,5 metros e possui 39 pavimentos. O primeiro pavimento é semienterrado e os dois primeiros pavimentos são destinados a estacionamento. Os seguintes 36 pavimentos são apartamento com 2 unidades por andar. O térreo concentra as áreas de lazer da edificação (piscina, salão de festas, churrasqueira e sala de ginástica).

O edifício está localizado no bairro Casa Amarela (Figura 31), na região norte de Recife, um dos bairros mais populosos da cidade, preponderantemente residencial, a microrregião alberga 29.180 habitantes numa área de 185 hectares, com uma densidade 155,09 habitantes/hectare (RECIFE, 2019).

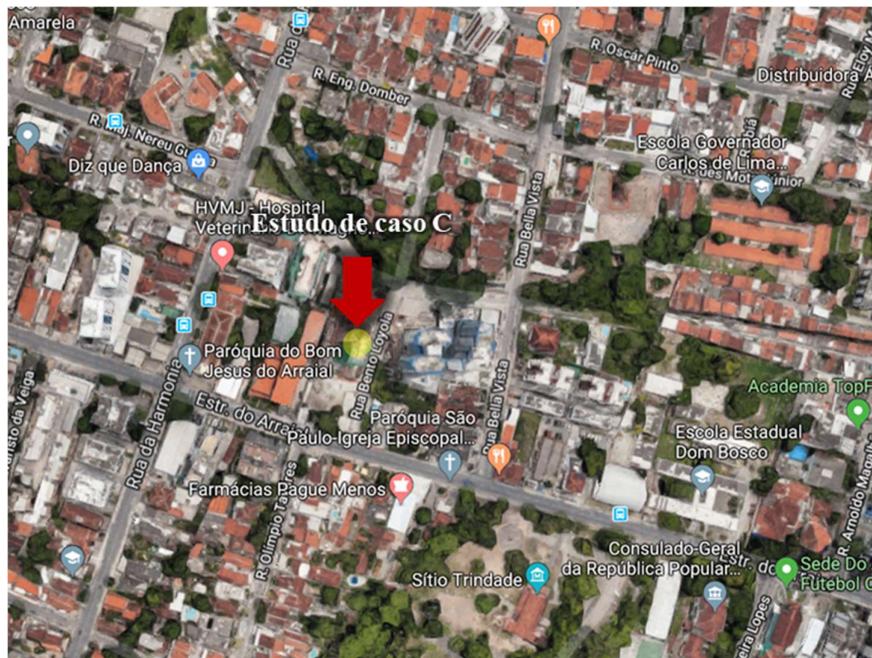
Da mesma forma que no estudo de caso B, esta edificação foi selecionada pela altura e características da sua localização circundada por edificações de média-grande altura. A seleção desta edificação de grande porte objetivou validar o procedimento de inspeção desenvolvido, composto pelo protocolo, formulários e *checklist*.

Figura 30: Fotografia estudo de caso C



Fonte: Autor (2019)

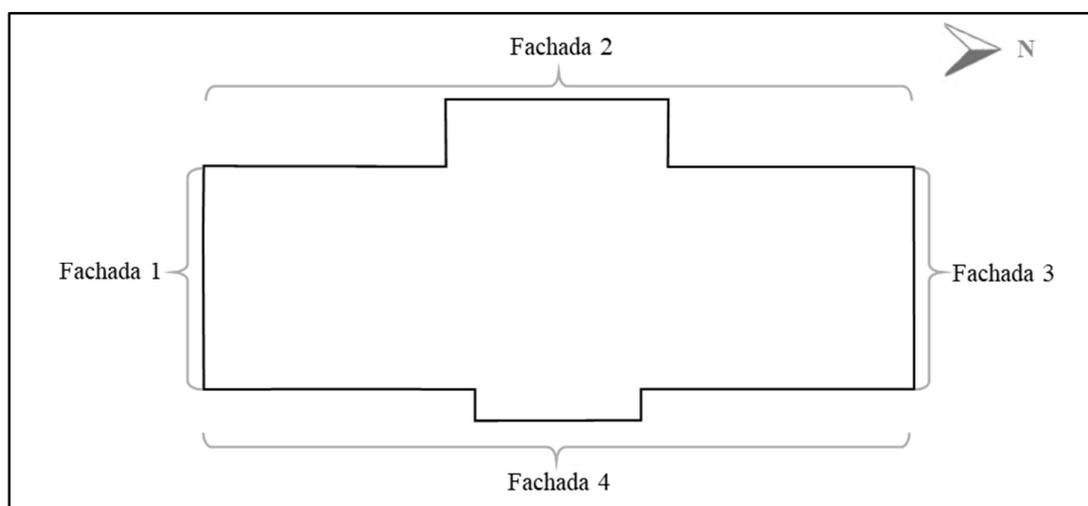
Figura 31: Imagem de satélite localização estudo de caso C



Fonte: (Google, 2019)

Antecedendo os trabalhos de campo, foram colhidas informações atualizadas do local, que incluíram imagens orbitais, croqui do terreno (Figura 32), área aproximada do sítio, fotografias da edificação, altura estimada das construções, além de condições de risco, climáticas, geográficas e de vizinhança.

Figura 32: Croqui do terreno estudo de caso C



Fonte: Autor (2020)

Da mesma forma que no estudo de caso B, o bairro Casa Amarela apresenta obstáculos naturais e artificiais, ressaltando a existência de edificações de grande altura, a primeira de aproximadamente 60 metros na região leste e a segunda na região noroeste com aproximadamente 75 metros, esses edifícios constituem os obstáculos mais importantes, justificado por que suas características geométricas podem gerar um incremento na velocidade do vento, isto como produto dos corredores do vento formados entre estas edificações e o edifício estudado no estudo de caso C.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo pretende apresentar todos os resultados alcançados após a elaboração dos passos metodológicos descritos no capítulo anterior. Iniciando pela pesquisa exploratória que propiciou a análise das boas práticas atuais do uso de VANT como ferramenta para inspeção, contribuindo no entendimento do potencial desta tecnologia e conseqüentemente auxiliando no desenvolvimento das diretrizes para a inspeção de manifestações patológicas com VANT.

Na sequência, são exibidos os resultados atingidos nos diferentes estudos de caso desenvolvidos neste trabalho, abordando questões relativas ao desempenho do equipamento VANT, do protocolo das atividades a realizar, da técnica de captura de imagens e do processamento no software de fotogrametria digital AGISOFT *PhotoScan*. Assim, nessa seção os resultados são discutidos em duas áreas, a captura de imagens com o VANT e o processamento computacional. Finalmente, são apresentados os resultados da análise dos ativos visuais gerados em busca de manifestações patológicas nos sistemas de revestimento de fachada.

6.1 Pesquisa exploratória

A seguir, são apresentados os resultados da pesquisa exploratória, a mesma composta pelos resultados da revisão sistemática PRISMA, que analisou publicações científicas relevantes na atualidade; seguida dos resultados da pesquisa do panorama atual local do uso do VANT na construção civil na cidade de Recife-PE.

6.1.1 Resultados da revisão sistemática por método PRISMA

Para a revisão sistemática, realizou-se a análise completa da informação dos 7 artigos previamente selecionados (HUNG *et al.*, 2018; IRIZARRY; COSTA, 2016; MADER *et al.*, 2016; MORGENTHAL; HALLERMANN, 2015; REAGAN; SABATO; NIEZRECKI, 2017; VERA, 2016; YANG *et al.*, 2015), conforme a critérios de elegibilidade previamente descritos na metodologia, foram extraídas as informações mais relevantes para o adequado entendimento das experiências científicas do uso do VANT como ferramenta de inspeção.

Para facilitar a visualização e entendimento dos dados extraídos nos textos para a análise utilizou-se 4 quadros que descrevem dados quantitativos e qualitativos essenciais, como as informações sobre os estudos, características dos equipamentos e os resultados obtidos, assim como suas respectivas variáveis, que são observados através dos Quadros 8, 9, 10 e 11.

Quadro 8: Informações gerais sobre os estudos realizados

N	Estudo Autor /ano	Cidade / Pais	Elemento Estudado	Objetivo	Procedimento	Tipo análise de dados
1	Hung <i>et al.</i> (2018)	Curitiba / Brasil	Bacia experimental	Mapeamento Horizontal	Captura de imagem com voos manuais com sobreposição longitudinal	técnico; visual
2	Mader <i>et al.</i> (2016)	Praga / República Checa	Pontes e Edificações	Mapeamento Vertical	Captura de imagem com sistema de captura consistente em três VANT equipados com sensores especiais e estação terrestre	técnico; visual
3	Yang <i>et al.</i> (2015)	Pequim / China	Edificações	Mapeamento Vertical (oblíquo)	Captura de imagem com voos manuais com técnica de fotogrametria aérea oblíqua	algoritmo
4	Irizarry e Costa (2016)	Atlanta / USA	Edificações	Fotos Verticais	Captura de fotos aéreas oblíquas mensais com voos manuais	técnico; visual
5	Morgenthal e Hallermann (2015)	Weimar / Alemanha	Edificações	Fotos Verticais	Captura de imagem com voos manuais monitorando os efeitos físicos e ambientais e seus efeitos na qualidade das fotografias	técnico; visual; algoritmo
6	Vera (2016)	Cúcuta / Colômbia	Condições de Temperatura, umidade e poluição	Mapeamento Horizontal	Sobrevoos automáticos com coleta de dados ambientais	algoritmo
7	Reagan, Sabato e Niezrecki (2017)	Massachusetts / USA	Pontes	Mapeamento Vertical	Captura de imagem com voos manuais com sobreposição	algoritmo

Fonte: Autor (2020)

Quadro 9: Características de VANT utilizados nos estudos incluídos

N	Modelo de VANT	Propósito Procedência	Número Rotores	Tipo de Asas	Classificação de acordo ANAC	Plano de voo
1	DJI <i>Phantom</i> 3 Professional	Comercial	4	Rotatórias	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Manual
2	ADFEX cópter Goliath Coax 8 from CADMIC.	Comercial	4	Rotatórias	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Automático e manual
3	Não informado	Não informado	Não informado	Não informado	RPAS Classe 2 (>25kg e <150 kg)	Não informado
4	DJI <i>Phantom</i> 2Vision	Comercial	4	Rotatórias	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Manual
5	Flight system Falcon Photo (Ascending Technologies Company)	Semicomercial	8	Rotatórias	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Manual
6	UAV “ala zagi” usando dois motores TURNIGY 2627-1200	Não comercial fabricação própria	2	Fixas	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Predefinido automaticamente por GPS
7	Instant Eye Gen4 heavy lift (developed by Physical Science)	Semicomercial	4	Rotatórias	RPAS Classe 3 (<25 kg)	Manual

Fonte: Autor (2020)

Quadro 10: Características equipamentos incorporados ao VANT nos estudos incluídos

N	Elemento de Detecção	Modelo Câmera	Tipo Câmera	Resolução	Software Processamento
1	I. Câmera digital não métrica	I. DJI FC300X 3.6 RGB	Integrada	I. 12 Mpx	I. Pix4D Capture II. Ctrl+DJI
2	I. Câmera Térmica e infravermelha II. Scanner Laser III. Câmera digital não métrica	I. Camera Mako G-419C; Infrared camera Mako G-223NIR; Thermal camera FLIR A65, all fixed rigidly on a bar II. Laser scanning range finder Hokuyo UTM-30LX-EW III. High-resolution RGB camera AVT Prosilica GT3300C	Externa	I. 29 Mpx	I. LSRF data
3	I. Câmera digital métrica	I. Hasselblad H3D câmeras	Externa	I. 22 e 39 Mpx	I. C++
4	I. Câmera digital não métrica	I. DJI Vision+	Integrada	I. 14 Mpx	I. DJI VISION APP
5	I. Câmera digital não métrica	I. Panasonic Lumix TZ 22	Externa	I. 14,1 Mpx	I. Falcon – Photo system II. Falcon – Video system
6	I. Sensor de temperatura e umidade II. Sensor de gás metano	I. DHT11 digikey II. CH4 dynamoelectronics	Externa	Não se aplica	Não informado
7	I. Câmera digital não métrica	I. AC A1600-20um Basler	Externa	I. 2 Mpx	I. Pix4D Capture II. Ctrl+DJI

Fonte: Autor (2020)

Quadro 11: Resultados dos estudos incluídos

N	Vantagens do uso de VANT	Desvantagem do uso de VANT	Comparação com o meio tradicional	Perspectivas Futuras	Conclusão do estudo
1	Obtenção de modelo digital do terreno em locais com vegetação florestal	Limitações da capacidade de carga para equipamentos de detecção mais sofisticados	[VANT - Aviões] Diminuição de recursos humanos e custos no procedimento de mapeamento	Uso de equipamentos de detecção cada vez mais sofisticados em VANT com capacidade de carga e distância de operação maior	Foi demonstrada a viabilidade da utilização do VANT para a geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) em locais com vegetação florestal esparsa, permitindo segmentar a altura da vegetação de pinus e das áreas com vegetação nativa
2	Viabilidade econômica, rentabilidade e eficiência na detecção de danos em edificações	Dificuldade na sincronização de planos de voo para captura de dados simultânea dos 3 VANT usados para o estudo	[VANT - Alpinismo] Eliminação do risco de trabalho em altura; diminuição de custos; maior velocidade	Desenvolver um sistema que permita o controle e processamento dos dados gerados simultaneamente pelos 3VANT	A detecção de danos baseada em VANT é uma ferramenta útil e flexível de ajuda na inspeção da construção. A análise multiespectral da vedação vertical facilita significativamente a interpretação visual de características e danos.
3	Baixo custo, alta eficiência, ampla cobertura e ampla aplicabilidade	Limitações do alcance em grandes áreas urbanas de mapeamento muito grandes	[VANT - Aviões] Mitigação da contaminação acústica no mapeamento; diminuição de recursos humanos e custos	Difusão da metodologia de coleta de dados métricos usada; otimização do algoritmo de processamento da informação	Demonstra-se o baixo custo, alta eficiência, ampla cobertura e ampla aplicabilidade no uso do mapeamento vertical oblíquo. Conseguiu-se desenvolver o algoritmo para análise de imagens aéreas oblíquas e obter dados precisos de posição espacial em 3D
4	Velocidade em inspeção visual de canteiros de obra de grande porte	Observa-se pequeno decréscimo inicial na produtividade da mão de obra (voos causam distração)	[VANT – Ronda técnica] Diminuição de recursos humanos qualificados; agiliza tarefas de gerenciamento	Quantificar os benefícios em tarefas de gerenciamento para entender claramente seu impacto no canteiro de obra	O uso de VANT como ferramenta de inspeção visual durante a execução dos diferentes serviços no canteiro de obra permite a otimização das tarefas de gerenciamento, incrementando a produtividade dos profissionais gestores e técnicos

Quadro 11: Resultados dos estudos incluídos (Continuação)					
N	Vantagens do uso de VANT	Desvantagem do uso de VANT	Comparação com o meio tradicional	Perspectivas Futuras	Conclusão do estudo
5	Facilita a inspeção onde o acesso é difícil, reduzem custos, capacidade de aquisição rápida de dados em tempo real	Pequena carga útil, pequenas câmeras digitais compactas, curto tempo de voo (pequenas baterias)	[VANT - Alpinismo] Eliminação do risco de trabalho em altura; Diminuição de custos; maior velocidade	Desenvolver VANT com maiores capacidades de carga e tempo de voo, permitindo a geração de imagens cada vez mais detalhadas	O potencial para a aplicação de Tecnologia VANT na inspeção predial é enorme, particularmente onde o acesso é difícil, esses veículos transportados pelo ar podem reduzir custos e gerar dados de imagem de forma muito eficiente.
6	Velocidade e eficiência na medição da poluição em aterros sanitários	Muito sensível a mudanças nas condições meteorológicas	[VANT - Aviões] Diminuição de recursos humanos e custos; diminui tempo de deslocamento	Estudar os aterros sanitários com sensores que permitam maiores faixas (maior capacidade de processamento de dados)	Sucesso na aplicação do VANT como ferramenta de detecção, o procedimento experimental será útil para a análise de risco em aterros sanitários através da medição da poluição, conseguiu-se o mapeamento aéreo de temperatura, umidade e gás metano (CH ₄)
7	Permite a geração de modelos 3D de elementos com geometria complexa, deslocamento de campo total	Limitações na transmissão de dados; só são capazes de fornecer dados para pontos discretos	[VANT - Alpinismo] Eliminação do risco de trabalho em altura; Diminuição de custos; maior velocidade	Optimização do algoritmo para análise de imagens aéreas oblíquas, eliminando os erros de detecção métrica	O sistema VANT pode ser usado para escanar paredes completas, colunas ou outras grandes áreas de interesse, com geometria complexa, reconstruindo sua forma e medindo seus deslocamentos, assim permitindo a geração de modelos 3D

Fonte: Autor (2020)

Após a elaboração da revisão sistemática e a construção dos Quadros 8 a 11, confirma-se a existência de diferentes tipos de VANT potencialmente úteis para diferentes propósitos na indústria da construção civil, entre eles, a inspeção de manifestações patológicas em fachadas.

Assim, no estudo de Vera (2016), pode-se perceber que aqueles VANT que recebem a denominação de asas fixas gastam menos energia pois sua sustentação, como o nome diz, é dada pelas asas, onde o motor neste caso gera movimento, o ar se desloca e a sustentação é gerada. Nesse estudo também se observa que esse tipo de veículo aéreo pode percorrer grandes distâncias ou voar bastante tempo dependendo da configuração, apresentando grandes benefícios para a captura de imagens e compilação de informação no mapeamento horizontal.

Por tudo isto, os VANT de asas fixas são ideais para mapeamento topográficos de áreas extensas com fotogrametria aérea, podendo-se aplicar ao caso de estudo de Hung *et al.* (2018) no mapeamento da bacia experimental, ou para o caso de estudo de Yang *et al.* (2015) no mapeamento vertical oblíquo em maior escala de fachadas em grandes áreas urbanas, permitindo atingir maior altura e velocidade na coleta de dados.

Adicionalmente, foi possível observar que o longo tempo de voo característico deste tipo de aeronaves permite a extensa coleta de dados. Sendo eficaz para estudos como o de Vera (2016) no caso da determinação de riscos ambientais com o mapeamento da temperatura, umidade e poluição nos aterros sanitários.

Por outro lado, nos estudos analisados foi verificado que o VANT com sustentação de asas rotatórias permite deslocamentos mais rápidos e maior versatilidade nos voos. Características que propiciam efetividade na coleta de imagens horizontais em áreas de mediana extensão, como demonstrado no estudo de caso Hung *et al.* (2018), realizando a reconstrução 3D de uma bacia experimental com as fotografias coletadas por esse tipo de VANT.

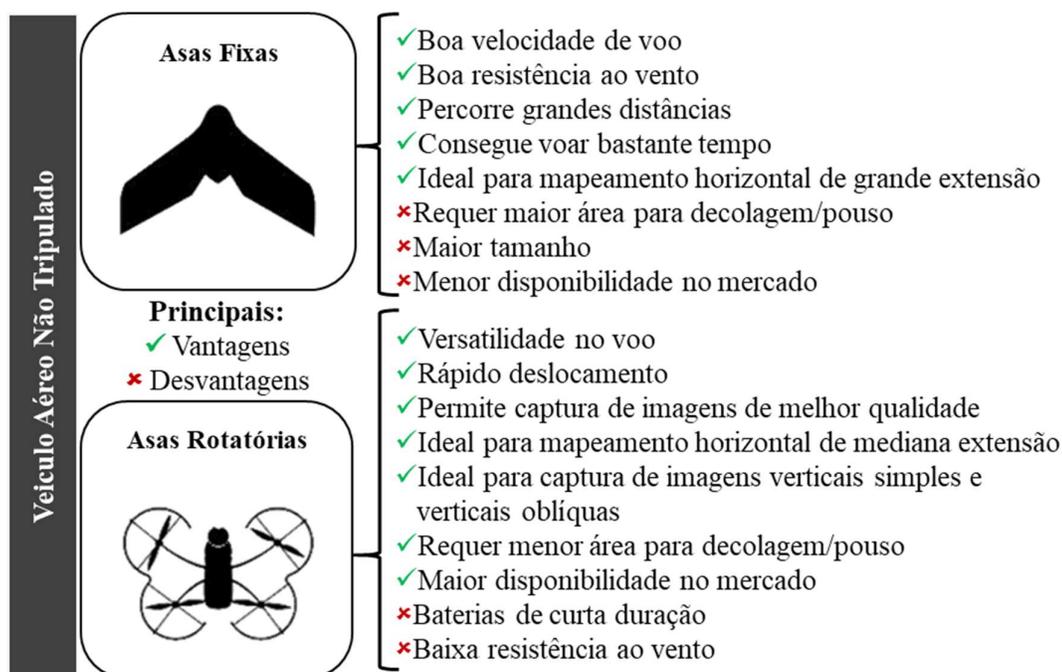
Essa versatilidade particular deste tipo de aeronaves permite sua movimentação em todos os eixos possíveis, sendo eficaz na captura de imagens verticais simples e verticais oblíquas como é apresentado nos casos de estudo de Mader *et al.* (2016), Morgenthal e Hallermann (2015) e Reagan, Sabato e Niezrecki (2017) na detecção de superfícies ou elementos específicos, constituindo assim, uma ferramenta útil para a inspeção visual de elementos verticais ou, como o caso de estudo de Irizarry e Costa (2016), uma ferramenta visual para o gerenciamento do canteiro de obra.

De acordo com a informação apresentada no Quadro 9, os VANT de asas rotatórias usados nos estudos enquadram-se na classificação RPAS Classe 3 da ANAC, conseqüentemente as missões com estas aeronaves geralmente têm restrições e requerimentos menores de acordo com a legislação vigente (ANAC, 2017; DECEA, 2015). Essa peculiaridade viabiliza o uso deste tipo de aeronaves em áreas urbanas e canteiros de obras, incrementando as possibilidades de aplicação desta ferramenta tecnológica na indústria da construção civil.

Do mesmo modo Hung *et al.* (2018), Irizarry e Costa (2016) ressaltam que esse tipo de veículo é comumente simples de pilotar. Em suma, os estudos analisados confirmam a boa estabilidade da aeronave, que com sua decolagem e aterragem vertical, dispensam de grandes áreas para este propósito. Portanto, essas aeronaves são a opção principal para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas de fachadas.

Após a elaboração da revisão sistemática, a Figura 33 apresenta o resumo comparativo das principais vantagens e desvantagens observadas nos VANT segundo seu tipo de sustentação (asas fixas e rotatórias). Todas elas foram inferidas após a análise completa dos textos incluídos na revisão e a comparação dos Quadros 10 e 11 apresentados.

Figura 33: Vantagens e desvantagens do VANT em função ao tipo de asas



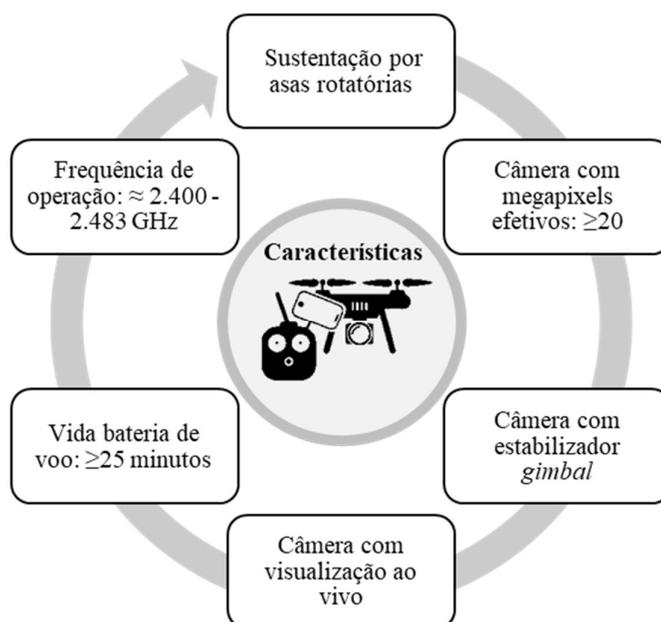
Fonte: Autor (2020)

A apreciação comparativa dos Quadros 8 e 10 denota semelhanças implícitas nos procedimentos de captura e processamento de dados. Assim, todos os estudos inclusos usam pelo menos um software para a pilotagem, planejamento de voo ou para a análise dos dados obtidos no voo. Entre eles, os softwares *Pix4D Capture* e *Drone Deploy* são caracterizados por permitir a automatização do voo e/ou a captura de imagens mediante os critérios de fotogrametria aérea (HUNG *et al.*, 2018; IRIZARRY; COSTA, 2016).

Em suma, após a estruturação da informação nos Quadros 9, 10 e 11, foi corroborada a existência de diferentes tipos de elementos de detecção como sensores, câmeras ou scanners, que estão ou podem ser acopladas a diferentes VANT. Assim, demonstrando mais uma vez a flexibilidade desta aeronave, que além de versátil admite a incorporação de diferentes tecnologias para a coleta de dados.

Nos estudos realizados por Hung *et al.* (2018), Mader *et al.* (2016), Irizarry e Costa (2016), Morgenthal e Hallermann (2014), foi percebida a vantagem de câmeras aéreas ligadas a um *gimbal*. Este é um estabilizador que permite a captura de imagens aéreas de maior qualidade, neutralizando as vibrações na câmera pela constante movimentação do veículo aéreo. Em síntese, o *gimbal* pode permitir atender aos requisitos de acurácia nas fotografias aéreas para detecção de manifestações patológicas. Assim, na Figura 34 são apresentadas as características mínimas sugeridas para o equipamento com o intuito da inspeção visual de fachadas.

Figura 34: Características mínimas do equipamento para inspeção visual de fachadas



Fonte: Autor (2020)

Por outro lado, Mader *et al.* (2016) também apresenta resultados promissores com o uso de câmeras térmicas infravermelhas equipadas em VANT, particularmente para a localização de danos em estruturas, tendo como perspectivas futuras o aprimoramento na combinação dessas duas tecnologias para os propósitos descritos anteriormente.

Conforme a revisão sistemática exposta, se percebe que não há uma metodologia única para procedimentos de inspeção com VANT, o qual dificulta a padronização dos dados obtidos. Pode-se notar isto nos estudos citados, eles são semelhantes no objetivo de mapear uma determinada área (horizontal ou vertical), mas se diferem nos procedimentos de obtenção destes resultados.

No entanto, analisando os Quadros 8 e 11, percebe-se a viabilidade da criação de uma metodologia que incorpore os diferentes pontos positivos de cada estudo, permitindo estruturar passo a passo a técnica para o serviço de inspeção, que particularmente no caso deste trabalho, terá foco nas manifestações patológicas em fachadas de edificações de mediana e grande altura. Abrangendo um protocolo de voo adequado que contemple as etapas de pré-execução, execução e pós execução do procedimento de inspeção.

Consequentemente, essa estruturação pode garantir as vantagens vislumbradas deste procedimento em relação ao método tradicional de inspeção com alpinismo industrial. Estas vantagens foram inferidas das conclusões dos estudos inclusos na revisão sistemática, abarcando um incremento na velocidade, segurança e redução de custos. Tópicos sintetizados numa comparativa com o método tradicional de inspeção estão apresentados na Figura 35.

Figura 35: Comparação procedimentos de inspeção visual de fachadas



Fonte: Autor (2020)

6.1.2 Resultados da pesquisa do panorama atual local do uso de VANT

Para esta etapa foi aplicado o questionário de caracterização, descrito na metodologia deste trabalho, nas empresas selecionadas A, B, C, D, E e F. As entrevistas foram agendadas e realizadas conforme disponibilidade das empresas. Em seguida, são apresentados os diferentes dados coletados como resultado desta fase da pesquisa exploratória.

6.1.2.1 Dados da empresa

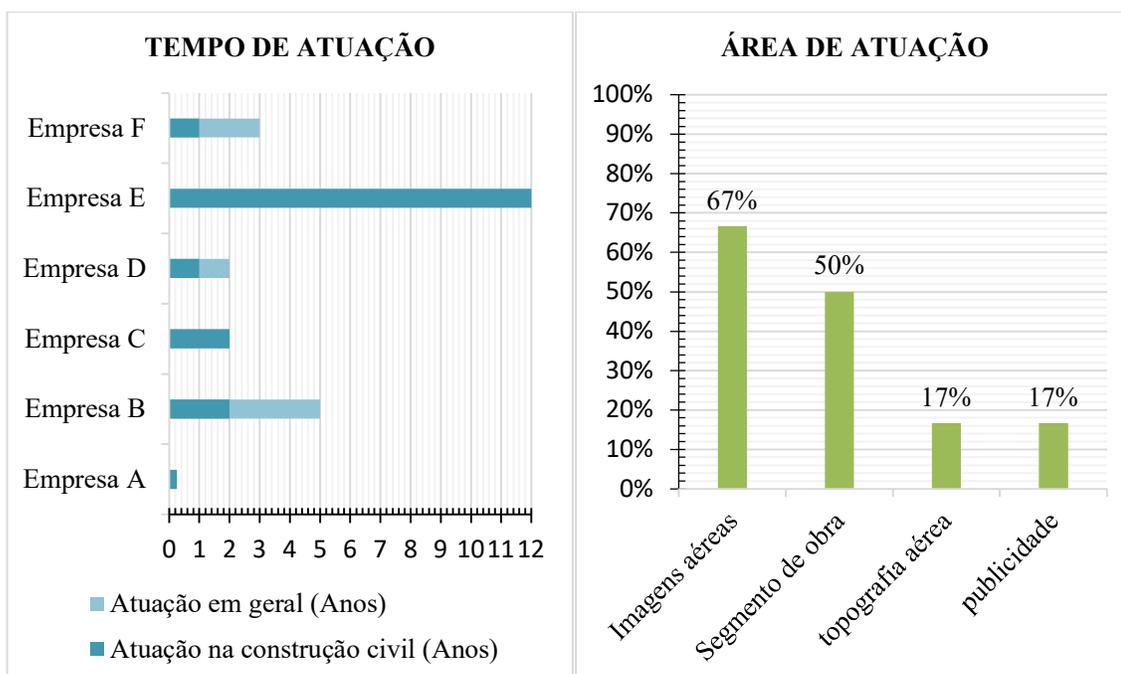
A primeira etapa da pesquisa indagou os principais dados das empresas, entre eles, no Quadro 12 são apresentados os resultados de forma resumida, exemplificando graficamente os dados relativos ao tempo e área de atuação na Figura 36. Esses dados permitem enxergar o tipo de ligação destas empresas com a indústria da construção civil, observando-se grande variabilidade no tempo de atuação e o número de projetos de interesse; no entanto, todas elas estiveram envolvidas em pelo menos um projeto nesta indústria.

Quadro 12: Dados gerais das empresas entrevistadas

QUESTÃO	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F
Ligação com indústria construção civil	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Área de atuação	Seguimento obra	Seguimento de obra e publicidade	Imagens aéreas e topografia aérea	Imagens aéreas	Imagens aéreas e seguimento de obra	Imagens aéreas
Tempo de atuação em geral	3 meses	5 anos	2 anos	2 anos	12 anos	3 anos
Tempo de atuação na construção civil	3 meses	2 anos	2 anos	1 ano	12 anos	1 ano
Projetos ligados a construção civil	1	51	49	8	478	5
Algum tipo de Certificação	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Autor (2020)

Figura 36: Gráficos do tempo e área de atuação das empresas



Fonte: Autor (2020)

Entre as empresas entrevistadas, a mais nova tinha 3 meses de atuação na data da realização da entrevista, por outro lado, a mais antiga contava com 12 anos de experiência em projetos relacionados à construção civil. Assim, em função da área de atuação destas empresas, a maior frequência corresponde ao serviço de captura de imagens aéreas ligadas a atividades de controle, vistorias e/ou publicidade. Sendo 67% das empresas entrevistadas que sinalaram essas atividades dentro da sua área de atuação.

Entre elas, as empresas C e D apresentam um maior enfoque na engenharia, a primeira realizando trabalhos de fotogrametria aérea e a segunda com captura de imagens aéreas para vistorias técnicas e peritagem, sendo esta última a mais experiente no uso de VANT na indústria da construção civil no mercado local. Por outro lado, constata-se que nenhuma das empresas entrevistadas dispõe de algum tipo de certificação de qualidade nos serviços fornecidos.

6.1.2.2 Dados do responsável

Continuando com o tópico seguinte das entrevistas, verificou-se dados correspondentes ao responsável do serviço disponibilizado pela empresa, resultados apresentados sinteticamente no Quadro 13. Conforme discutido na revisão bibliográfica, a regulamentação da ANAC estabelece que para qualquer tipo de voo, os pilotos e observadores devem ter 18 anos cumpridos e ensino médio completo, requerimento atendido por todas as empresas entrevistadas.

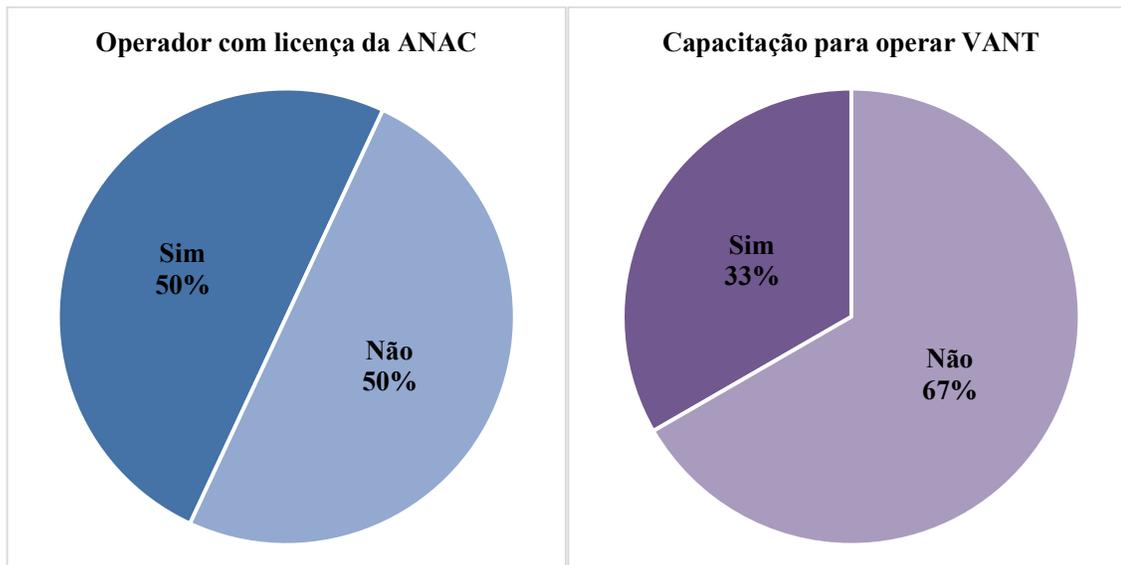
Quadro 13: Dados do responsável do serviço

QUESTÃO	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F
Tipo de formação	Engenharia	Licenciatura	Engenharia	Técnica	Técnica	Técnica
Capacitação para operar VANT	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Tipo de capacitação	N/A	N/A	N/A	Curso online	N/A	Curso online
Operador com licença da ANAC	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Tempo da licença	-	1 ano	-	1 ano e 6 meses	-	2 anos

Fonte: Autor (2020)

Porém, nem todos os pilotos possuíam a licença fornecida pela ANAC, unicamente 50% portavam a mesma (Figura 37). Implicando que a porcentagem restante apenas estava autorizada para realização de voos tipo VLOS e BVLOS até 120 metros de altura máxima.

Por outro lado, apenas o 33% das empresas entrevistadas tinham pilotos com algum tipo de capacitação para o voo de VANT com cargas horárias inferiores a 30 horas. As outras empresas têm pilotos com conhecimentos empíricos para a operação desta ferramenta, justificado pela facilidade na aprendizagem e operabilidade de alguns modelos de VANT oferecidos no mercado brasileiro.

Figura 37: Gráficos de dados do responsável do serviço

Fonte: Autor (2020)

6.1.2.3 Dados do VANT

O seguinte tópico abordado nas entrevistas indagou sobre as diferentes características dos VANT utilizados pelas empresas para os serviços fornecidos, os dados coletados foram resumidos e apresentados no Quadro 14.

Embora as empresas tenham VANT diferentes, todos os modelos coincidem no fabricante DJI, *Dà-Jiāng Innovations Science and Technology* empresa da China que na atualidade é líder no mercado mundial de VANT civis e comerciais (EXAME, 2018). As empresas justificam o uso desta marca por ter uma relação custo-benefício adequada, bom estoque de peças de reposição e serviço técnico, operabilidade intuitiva e disponibilidade de softwares que auxiliam na pilotagem e captura de imagens.

Quanto às características aerodinâmicas, todos os VANT empregados pelas empresas entrevistadas possuem asas rotatórias, com pesos inferiores a 25 quilogramas, todos eles enquadram-se na classificação RPAS Classe 3 segundo a ANAC. Por outro lado, de acordo à Classificação da UAV *Systems Association* eles enquadram-se como Micro μ , com uma distância máxima de transmissão inferior a 10 quilômetros e autonomia inferior a 1 hora.

Em relação ao equipamento de captura de imagens, as empresas utilizam as câmeras padrão incorporadas aos VANT, câmeras digitais aéreas aderidas a *gimbal* estabilizador que em todos os casos permitem resolução superior a 12 megapixels nas imagens capturadas. No caso específico da empresa C, integrou-se uma câmera termográfica infravermelha no VANT *Matrice 600* objetivando realizar vistorias técnicas em edificações, porém, a falta de desenvolvimento do procedimento de inspeção e consequente falta de demanda limitou o uso desta tecnologia nos serviços da empresa.

Finalmente indagou-se se as empresas abrangem a modelagem 3D nos serviços fornecidos. Entre elas só as empresas C e D empregam ferramentas de digitalização 3D dos ativos visuais capturados com VANT. A primeira usa o software AGISOFT *PhotoScan* para serviços relativos a mapeamento topográfico, a segunda, para seguimento e fiscalização da execução de projetos de construção civil.

Quadro 14: Dados dos VANT utilizados pelas empresas entrevistadas

QUESTÃO	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F
Modelo VANT	Inspire 1	Inspire 2 e Phantom 4	Phantom 4 e Matrice 600	Mavic Pro 2	Phantom 4	Phantom 4
Fabricante	DJI	DJI	DJI	DJI	DJI	DJI
Características aerodinâmicas	Asas Rotatórias	Asas Rotatórias	Asas Rotatórias	Asas Rotatórias	Asas Rotatórias	Asas Rotatórias
Autonomia máxima	30 minutos	30 minutos	30 - 60 minutos	30 minutos	30 minutos	30 minutos
Classificação UAV Systems Association	Micro μ	Micro μ	Micro μ	Micro μ	Micro μ	Micro μ
Classificação ANAC	RPAS Classe 3	RPAS Classe 3	RPAS Classe 3	RPAS Classe 3	RPAS Classe 3	RPAS Classe 3
Tipo de câmera	Câmera digital	Câmera digital	Câmera digital e térmica	Câmera digital	Câmera digital	Câmera digital
Modelo de câmera	Zenmuse X3	Zenmuse X7	P4 1/2.3" CMOS e Termográfica M2ED	P4 1/2.3" CMOS	P4 1/2.3" CMOS	Mavic 2 zooms 1" CMOS
Resolução	12 MP	24 MP	12.4 MP	12.4 MP	12.4 MP	20 MP
Realiza modelagem 3D	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não
Software utilizado para modelagem	N/A	N/A	AGISOFT PhotoScan	N/A	Pix4D	N/A

Fonte: Autor (2020)

6.1.2.4 Planejamento de voo

Continuando na sequência, o tópico final das entrevistas investigou o procedimento de planejamento de voo para os serviços fornecidos pelas empresas. Os resultados sintetizados são apresentados no Quadro 15 e exemplificados percentualmente no gráfico da Figura 38.

Observa-se que nenhuma das empresas dispõe de metodologia estruturada para a realização dos voos; adicionalmente, não possuem protocolos de voo que permitam a padronização dos serviços fornecidos. Por conseguinte, as empresas entrevistadas transferem a responsabilidade da execução do procedimento à experiência e critério do piloto da aeronave.

Quadro 15: Dados do planejamento de voo

QUESTÃO	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F
Possui alguma metodologia estruturada ou protocolo de voo	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Utiliza algum software para auxiliar no planejamento de voo	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
Software de auxilio utilizado	N/A	N/A	Map Pilot	N/A	N/A	Drone Deploy
Analisa locais alternativos para pouso e decolagem	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Verifica condições meteorológicas antes do voo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Número de baterias adicionais consideradas por serviço	2	1	2	1	1	6
Número de cartões de memória adicionais consideradas por serviço	0	1	0	0	0	2
Transfere arquivos a cada pouso	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
Usa <i>checklist</i> de equipamentos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Analisa topografia do local	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Analisa área do local	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Analisa perímetro do local	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Analisa local pouso e decolagem	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Analisa direção do vento	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Analisa altitude	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Velocidade máxima de voo empregada	3 Km/h	60 Km/h	40 Km/h	10 Km/h	25 Km/h	1 Km/h
Considera índice de sobreposição de imagens	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Autor (2020)

Seguidamente, constata-se que 67% das empresas entrevistadas realizam toda a operação do VANT manualmente, quer dizer, sem auxílio de softwares especializados. Por outro lado, o restante 33% das empresas participantes utilizam softwares como o *Map Pilot* ou *Drone Deploy* para, de alguma forma, auxiliar na missão aérea.

O *Map Pilot* ou *Drone Deploy* são aplicativos que permitem automatizar o voo de acordo a diferentes requerimentos do serviço; também possibilitam automatizar o procedimento de captura de imagens simplificando o planejamento de voos, a cobertura e a sobreposição adequada de imagens para formação de mapas por meio da aerofotogrametria.

Figura 38: Gráficos de dados do planejamento de voo



Fonte: Autor (2020)

Como parte do planejamento de voo, observa-se que uma porcentagem significativa das empresas, 83%, analisa os locais de pouso e decolagem prevendo locais alternativos emergenciais para este propósito. Do mesmo modo, essa porcentagem também analisa a área e perímetro do local, direção do vento e altitude máxima de voo, ressaltando a importância da inclusão destes elementos no planejamento da missão.

Adicionalmente, para 100% das empresas, a análise das condições meteorológicas e a inclusão de baterias adicionais para a missão são tópicos imprescindíveis na etapa de planificação, visando evitar chuvas e ventos fortes durante o serviço fornecido, além de incluir baterias suplementares para garantir o abastecimento elétrico do VANT, caso a missão seja prolongada.

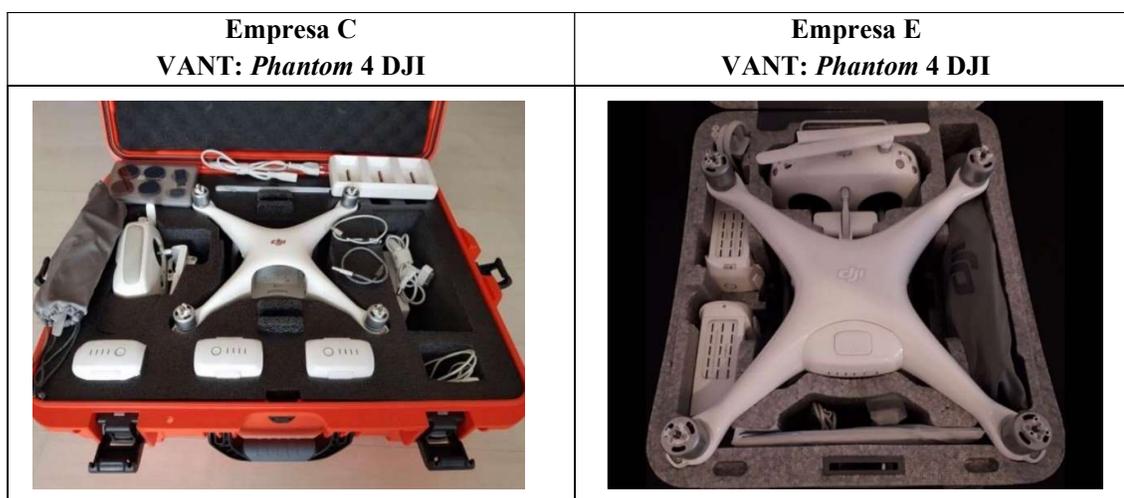
Entre outras práticas observadas, 83% das empresas usa *Checklist* antes e depois do serviço para o controle dos equipamentos. Porém, apenas 33% das empresas considerou importante transferir as imagens coletadas a cada pouso, justificando que os cartões de memória *SD* empregados no VANT apresentam elevada confiabilidade e capacidade de armazenamento. A mesma justificativa também influenciou na decisão de 100% das empresas de não incluir memórias adicionais.

6.1.2.5 Acompanhamento do serviço

Com as entrevistas concluídas, identificou-se quais empresas permitiriam realizar um acompanhamento do serviço em campo, sendo as empresas C e E as que se disponibilizaram para esse fim. Assim, em ambos os casos foram presenciados serviços relativos à captura de imagens aéreas de fachadas de edificações para a consecutiva geração de laudos técnicos.

Os serviços foram realizados no horário matutino, isto justificado pelo requerimento de iluminação para a captura de imagens com qualidade apropriada para permitir a análise técnica. O equipamento transportado até o local do serviço inclui o veículo aéreo, controle remoto, baterias, memória *SD*, hélices e carregador de baterias. Os VANT empregados para o serviço são apresentados na Figura 39.

Figura 39: VANT empregados nos serviços acompanhados



Fonte: Autor (2020)

Em ambos os casos o voo foi realizado a distâncias variáveis da fachada, dependendo do critério do piloto, sendo capturados unicamente pontos de interesse (manchas ou descolamentos no sistema de revestimento). O procedimento (Figura 40) teve uma duração de 22 e 26 minutos respectivamente, sendo dispensável o uso de baterias adicionais.

Figura 40: Serviço de captura de imagens aéreas

Fonte: Autor (2020)

No caso da empresa C, os ativos visuais gerados foram processados no software AGISOFT *PhotoScan*, onde, na etapa de alinhamento das fotografias, foram rejeitadas pelo programa 27% das 150 fotografias coletadas. Isto, em sua maioria, devido a grandes divergências na distância entre a câmera e a fachada, além da inadequada sobreposição entre as fotografias. No entanto, o produto do processamento possibilitou enxergar a geometria da totalidade da fachada e produção de ortomosaicos retificados.

Por outro lado, a empresa E não realizou nenhum processamento adicional às fotografias. Elas foram encaminhadas ao profissional de engenharia para a elaboração do laudo técnico, o qual, quando questionado sobre as dificuldades encontradas no procedimento de vistoria, assinalou que a falta de padronização das fotografias incrementava significativamente o tempo da inspeção visual.

Em conclusão, percebe-se que o procedimento é realizado empiricamente, comprometendo a qualidade dos produtos obtidos e propiciando a ocorrência de erros na etapa do processamento e análise técnica. Isto demonstra implicitamente que o problema real a ser estudado é a necessidade da incorporação de um procedimento estruturado com o uso do VANT, que permita a captura de imagens aéreas padronizadas viabilizando a criação de ativos visuais de maior qualidade, permitindo uma análise técnica mais criteriosa. Com essas considerações foi encerrada a etapa da pesquisa exploratória e iniciou a pesquisa experimental.

6.2 Pesquisa experimental

Esta etapa implementou, refinou e validou a técnica de captura de imagens e o protocolo de atividades para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com o uso do VANT, ambos desenvolvidos para edificações de média e grande altura e apresentados na metodologia deste trabalho.

Assim, conforme a metodologia proposta, os estudos de caso foram estruturados e realizados de acordo com as etapas do protocolo das atividades a realizar: pré-execução com o formulário de planejamento, execução com o *checklist* para missão com VANT, e finalmente a pós-execução auxiliada com a planilha *flight log*.

6.2.1 Treinamento do procedimento

Inicialmente foram realizados voos experimentais, para treinamento no que diz respeito à operação do VANT (incluindo piloto e equipe de observadores) e dos procedimentos técnicos necessários para que tal operação ocorra dentro dos critérios de segurança exigidos. Foi realizado também o treinamento para utilização do software AGISOFT *PhotoScan*, por meio da leitura de manuais, visualização de tutoriais, e criação de modelos 3D testes a partir das imagens coletadas em voos experimentais.

Assim, esta etapa inicial do estudo de caso abrangeu o desenvolvimento de habilidades técnicas para utilização apropriada do VANT e o software, além da definição dos processos necessários para permitir a reconstrução 3D das fachadas e a geração de ortomosaicos a partir dos recursos visuais gerados com o VANT *Phantom 4 Pro V2.0* da DJI. Ajudando assim, por exemplo, na formulação do protocolo das atividades a realizar e da técnica de captura de imagens.

Do mesmo modo, no treinamento foram testados os modos de voo automatizados e semiautomáticos, controlados através dos DJI *Go App* e *Pix4D Mapper*, porém, esses modos de voo automatizados focam no mapeamento de superfícies horizontais e não permitem cumprir com os requerimentos da técnica de captura vertical de imagens proposta para o estudo. Portanto, a captura de imagens foi realizada por meio do modo de voo manual, visando familiarizar-se com a funcionalidade e sensibilidade dos diferentes elementos no controle remoto. Assim, o controle (*stick*) esquerdo controla a altitude e gira a aeronave em torno de seu eixo. O controle (*stick*) direito voa para frente, para trás, para a esquerda e para a direita. A decolagem e a aterragem são automatizadas através do aplicativo.

O treinamento da operação foi realizado na edificação selecionada para o estudo de caso A, favorecido pela facilidade de acesso concedida a alunos da instituição, e principalmente, pelas características da localização do instituto, sendo um lugar amplo, aberto e sem obstáculos. Desta forma, mitigando riscos inerentes à operação do VANT e permitindo a realização de diversos voos para treinamento inicial.

No total foram realizados 8 voos experimentais em 4 testes de campo. Foi contado a realização de um voo a cada decolagem e pouso realizados, inclusive para troca de memória SD ou recarregar a bateria, resultando em aproximadamente 2 horas e 30 minutos de voo para treinamento, conforme apresentado no Quadro 16. Dentre as informações registradas durante o voo por meio do App DJI Go, destacam-se, a quantidade de ativos visuais coletados (fotos e vídeos), distância, altitude máxima e duração de voo.

Quadro 16: Dados de voos para treinamento (Planilha *Flight Log*)

N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada (m)	Altitude máxima (m)	Duração voo (min)
1	Curado	05/08/18	11:14	Treinamento	2	20	5	15
2	Curado	05/08/18	11:40	Treinamento	35	8	16	12
3	Curado	07/08/18	09:52	Treinamento	108	4	24	27
4	Curado	07/08/18	11:31	Treinamento	95	4	35	28
5	Curado	13/08/18	14:15	Treinamento	42	6	92	8
6	Curado	13/08/18	14:27	Treinamento	67	8	35	19
7	Curado	13/08/18	15:50	Treinamento	87	8	36	25
8	Curado	30/08/18	15:25	Treinamento	35	50	120	24

Fonte: Autor (2020)

Após a realização dos voos para treinamento, observou-se que entre os ativos visuais gerados, os vídeos 4K ocupam uma porcentagem elevada da memória no cartão SD e são um recurso que não contribui significativamente ao processamento digital para mapeamento 3D. Por outro lado, as fotografias aéreas coletadas proporcionam uma excelente riqueza de detalhes sendo um recurso de qualidade suficiente para o processamento, por esse motivo, os vídeos 4K foram dispensados para as capturas de imagens seguintes.

Com o piloto e equipe de observadores preparados e familiarizados com os procedimentos técnicos para permitir que a operação do VANT ocorra dentro dos critérios de segurança exigidos, inicia o procedimento de inspeção conforme ao protocolo proposto. Para isso, foram realizadas as etapas de pré-execução, execução e pós-execução para os estudos de caso A, B e C, tal como apresentado a seguir.

6.2.2 Pré-execução

A primeira etapa após o treinamento consistiu no planejamento da missão independentemente para cada estudo de caso. Assim, os formulários de planejamento foram preenchidos completamente conforme apresentado nos Apêndices 5, 6 e 7, coletando informações gerais das edificações estudadas, definindo os planos de voo e de captura das imagens aéreas.

As informações sintetizadas dos formulários de planejamento para cada estudo de caso são expostas no Quadro 17, ressaltando que os voos de mapeamento foram planejados e executados considerando uma distância de 8 metros das fachadas, recobrimento frontal e lateral de 75% entre cada fotografia e câmera em visada ortogonal à fachada, regulada para conseguir imagens DNG de proporção 16:9 com 5.472×3.078 pixels. Deste modo, em tese, levando-se em conta as características da câmera do *Phantom 4 Pro V2.0*, essa configuração resultaria em fotografias com altura e largura de $7,30 \times 12,97$ metros.

Quadro 17: Dados formulário de planejamento dos estudos de caso

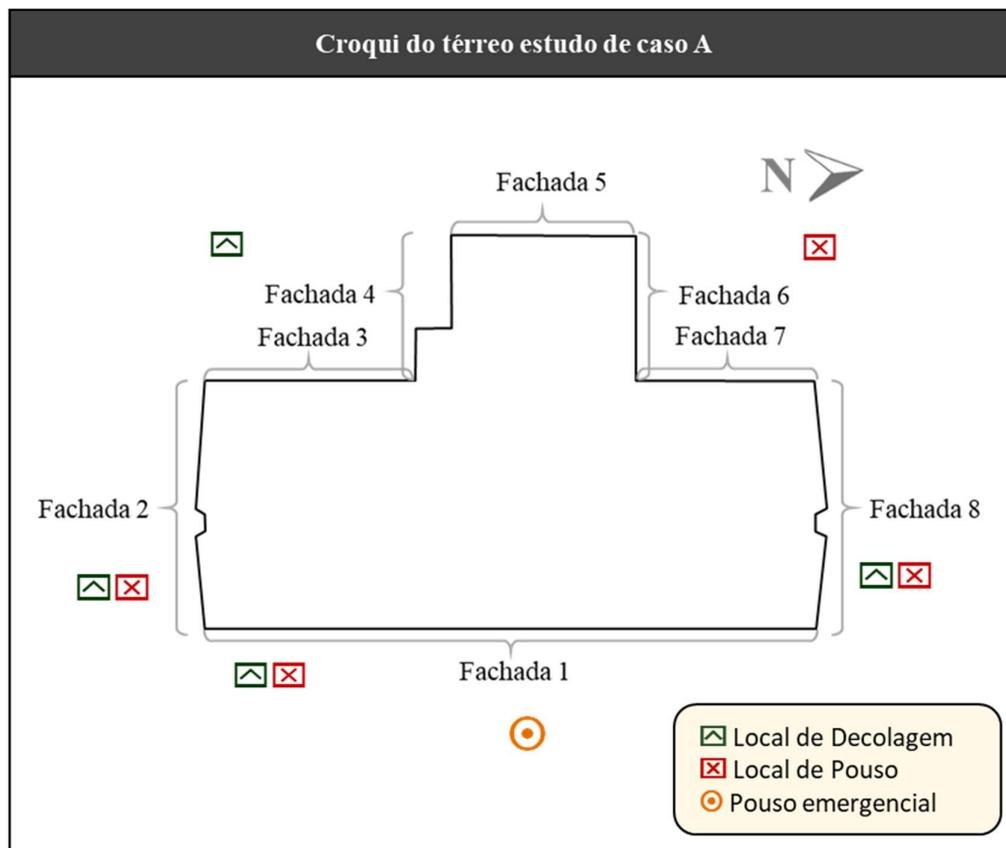
	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C
Informações da edificação			
Altura da edificação:	16,50 m	48,00 m	120,50 m
Número de fachadas:	8	4	4
Área total das fachadas:	1.417,00 m ²	2.916,00 m ²	9.640,00 m ²
Plano de voo			
Tipo de operação:	VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)
Tempo estimado da operação:	35 min	50 min	80 min
Número estimado de baterias:	2	2	3
Data da operação:	03 de setembro 2018	08 de maio 2019	09 de setembro 2019
Horário da operação:	10:00 horas	9:00 horas	8:00 horas
Previsão da temperatura:	33 °C	29 °C	25 °C
Chance de chuva:	10 %	75 %	10%
Velocidade do vento:	18 Km/h	10 Km/h	21 Km/h
Visibilidade:	16,10 Km	9,70 Km	11,3 Km
Plano captura de imagens			
Distância câmera-fachada:	8 m	8 m	8 m
Cobrimentos fotográficos	75 %	75 %	75 %
Número estimado de fotografias	150	268	1.024

Fonte: Autor (2020)

Com todas as considerações antes mencionadas, e conforme as características geométricas da edificação, foi estimado o número de cargas das baterias necessárias para realizar a captura das imagens em cada estudo de caso. Assim também, por meio da aplicação das equações para o cálculo estimado de imagens, expostas no capítulo da metodologia, foi prevista a quantidade aproximada de fotografias requeridas para o mapeamento das fachadas, permitindo cobrir a totalidade das superfícies analisadas.

No estudo de caso A, em função das características físicas da localização da edificação e o planejamento mediante o formulário proposto, foram selecionadas diferentes áreas previstas para pouso e decolagem, incluindo também uma área de fácil acesso destinada para pouso emergencial (Figura 41).

Figura 41: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso A

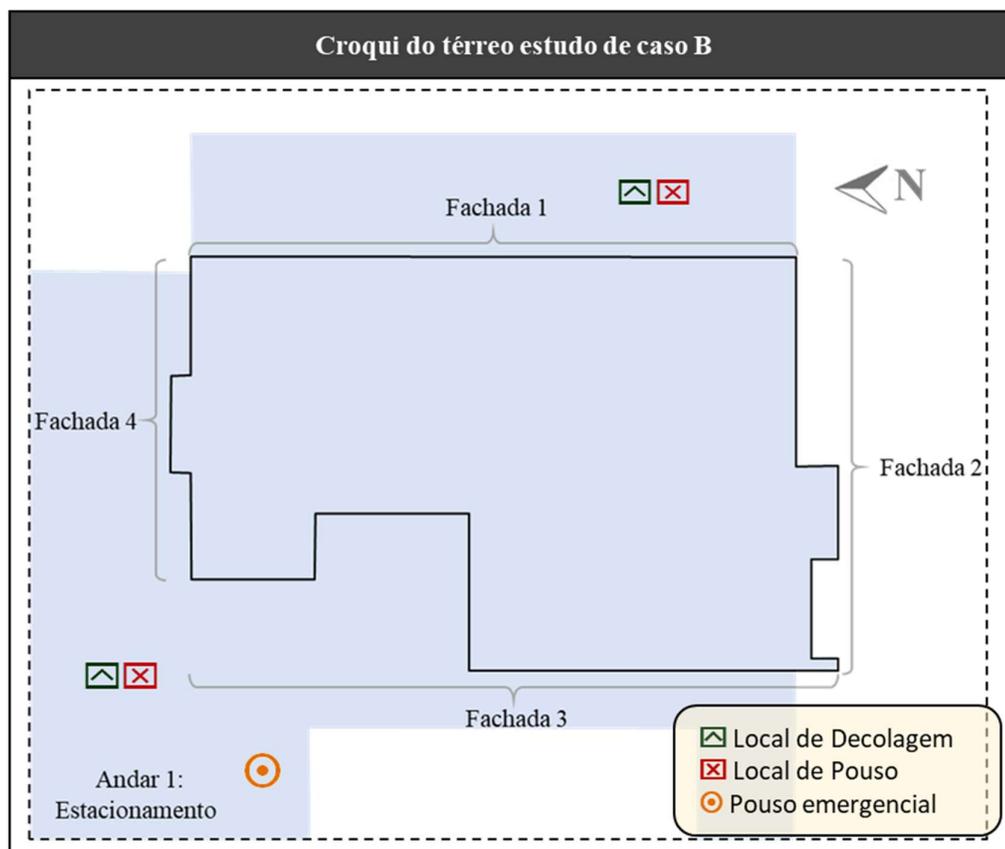


Fonte: Autor (2020)

O planejamento nos estudos de caso B e C, sendo edifícios residenciais, considerou fatores específicos, como por exemplo, a seleção adequada do horário para a realização da operação, visando ter a menor quantidade de moradores nas unidades habitacionais, evitando o desconforto causado pela invasão de privacidade na etapa de captura das imagens da fachada. Com este objetivo, foi realizada uma entrevista com os administradores dos condomínios em cada caso, determinando que o dia com menor presença de moradores é nas quartas feiras no edifício do estudo de caso B e segundas feiras no estudo de caso C, ambos em horário matutino.

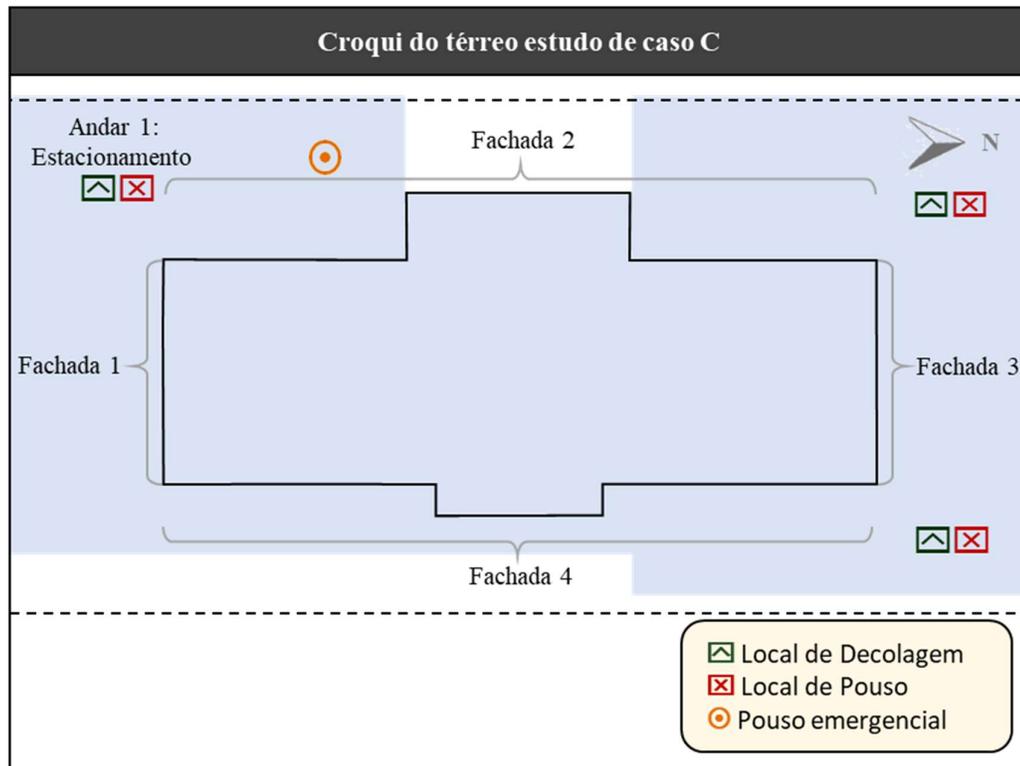
Adicionalmente, em função das características físicas dos edifícios e às dificuldades adicionais inerentes a suas localizações, as únicas áreas disponíveis para pouso e decolagem estão localizadas no primeiro andar (estacionamento), selecionando 2 pontos de decolagem-pouso no estudo de caso B (Figura 42), e 3 no estudo de caso C (Figura 43), incluindo em ambos casos uma área de fácil acesso destinada para pouso emergencial.

Figura 42: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso B



Fonte: Autor (2020)

Figura 43: Croqui de planejamento para decolagem e pouso estudo de caso C



Fonte: Autor (2020)

6.2.3 Execução

Após a elaboração da planificação das missões por meio do formulário de planejamento, e confirmando as condições meteorológicas previstas, foi iniciada a etapa de execução. Na sequência, foram identificados no campo os diferentes locais de decolagem, pouso e pouso emergencial designados no planejamento. Na continuação foi identificada a numeração das fachadas e a sequência para captura de imagens, selecionando, em todos os casos, o ponto de pouso e decolagem mais próximos para a primeira fachada de cada edificação estudada, onde se realizou a montagem do VANT (Figura 44).

Como mencionado em capítulos anteriores, é importante ressaltar que no DJI *Phantom 4 Pro V2.0* a duração máxima da bateria permite 30 minutos de voo. Porém, esse é um valor calculado em condições ideais. Nos testes de treinamento, exposto a diferentes condições de vento e alturas de voo, foi calculada uma média cerca dos 26 minutos de tempo de voo, terminando com cerca de 8% de bateria, visto que sistemas de segurança de aplicativos de controle como o DJI *Go App* e *Pix4D Mapper* não permitem voar até que a bateria esteja completamente esgotada.

Figura 44: Montagem de VANT em campo

Fonte: Autor (2020)

Para garantir a segurança e a eficiência na decolagem e pouso da aeronave utilizou-se o *Checklist* para missão. Considerando que a missão foi do tipo VLOS, em Linha de Visada Visual, na qual o piloto manteve o contato visual direto com o VANT, o *checklist* teve a função de auxiliar na preparação do voo, controle, e operações de pouso e decolagem, visando o uso apropriado do equipamento. Assim, ele foi preenchido em campo por um dos membros da equipe, conforme apresentado nos Apêndices 5, 6 e 7 a partir dos quais o Quadro 18 foi elaborado, sintetizando os dados do cadastro de voo, permitindo observar o número de fachadas cobertas e o número de fotografias capturadas por cada carga da bateria.

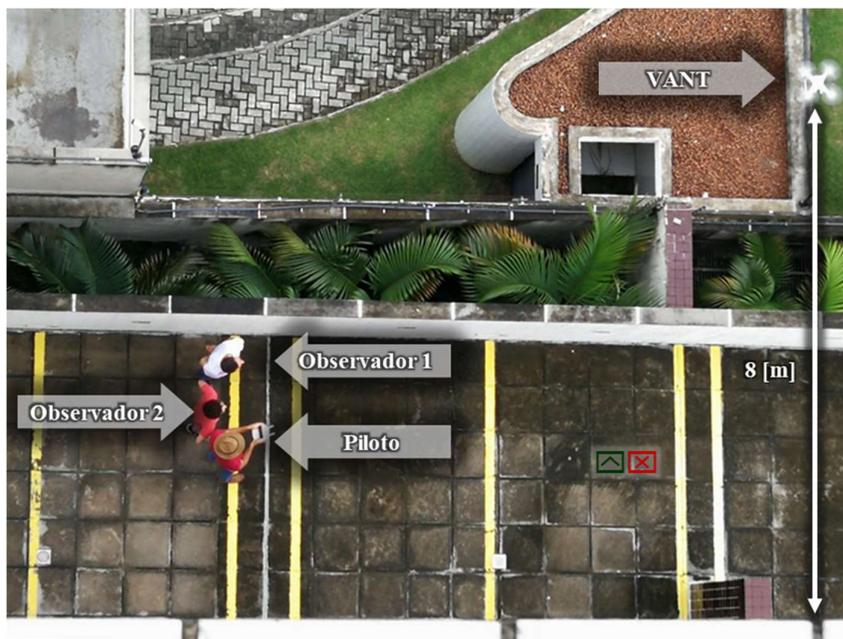
Assim, nos 3 estudos de caso, a operação do VANT foi totalmente manual, com ajuda dos sensores de proximidade da aeronave e auxiliada por dois observadores, o primeiro verificando a existência de uma distância adequada aos obstáculos previamente identificados, e o segundo realizando o seguimento (na tela do controle remoto) à distância entre o veículo aéreo e a fachada da edificação, como exemplificado na Figura 45.

Quadro 18: Dados dos *Checklists* da missão com VANT

Cadastro de voo	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
Estudo de caso A			
Data:	03/09/2018	03/09/2018	-
Horário de início:	10:29	13:20	-
Horário de término:	11:15	13:41	-
Fachadas cobertas:	F1; F2; F3; F4; F5	F6; F7; F8	-
Número de Imagens:	116	53	-
Estudo de caso B			
Data:	08/05/2019	08/05/2019	-
Horário de início:	9:00	12:10	-
Horário de término:	9:45	12:42	-
Fachadas cobertas:	F1; F2	F3; F4	-
Número de Imagens:	146	127	-
Estudo de caso C			
Data:	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Horário de início:	8:28	10:35	13:15
Horário de término:	8:56	11:02	13:41
Fachadas cobertas:	F1; F3	F2	F4
Número de Imagens:	125	412	405

Fonte: Autor (2020)

Figura 45: Ilustração da captura de imagens com VANT



Fonte: Autor (2020)

Por outro lado, embora a operação do VANT tenha sido manual, o processo de captura de imagens foi realizada de modo automático, usando o aplicativo *Pix4D Capture*, empregando o modo de voo *Free Flight Mission*, ajustado para acionar o obturador da câmera a cada 1,8 metros de deslocamento vertical e 3,2 metros de deslocamento horizontal, resultando nos cobrimentos frontal e lateral planejados de 75%.

6.2.4 Pós-execução

Após a execução da captura de imagens, nenhum incidente foi registrado. Na sequência, foi realizada a verificação da qualidade dos ativos visuais gerados, excluindo fotografias de treinamento, fora de foco ou capturadas erroneamente. Seguidamente, a planilha *Flight log* foi preenchida para cada estudo de caso como apresentado no Quadro 19, sintetizando a relação de todos os dados físicos dos voos realizados.

Quadro 19: Dados das planilhas *Flight log*

N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada (m)	Altitude máxima (m)	Duração voo (min)
Estudo de caso A								
1	Curado	03/09/18	10:29	Execução	49	8	14,50	11
2	Curado	03/09/18	10:45	Execução	20	8	14,50	5
3	Curado	03/09/18	10:55	Execução	15	8	14,50	3
4	Curado	03/09/18	11:01	Execução	17	8	16,50	5
5	Curado	03/09/18	11.11	Execução	15	8	16,50	4
6	Curado	03/09/18	13:20	Execução	18	8	16,50	4
7	Curado	03/09/18	13:25	Execução	14	8	14,50	5
8	Curado	03/09/18	13:35	Execução	21	8	14,50	6
Estudo de caso B								
1	Madalena	08/05/19	9:00	Execução	97	8	46,00	13
2	Madalena	08/05/19	9:31	Execução	49	8	46,00	14
3	Madalena	08/05/19	12:10	Execução	101	8	48,00	15
4	Madalena	08/05/19	12:31	Execução	26	8	46,00	11
Estudo de caso C								
1	C. Amarela	09/09/19	8:28	Execução	62	8	121	13
2	C. Amarela	09/09/19	8:41	Execução	63	8	121	15
3	C. Amarela	09/09/19	10:35	Execução	412	8	121	27
4	C. Amarela	09/09/19	13:15	Execução	405	8	121	26

Fonte: Autor (2020)

As imagens foram armazenadas no formato DNG seguindo a mesma ordem de captura, agrupando-as em arquivos que correspondem a cada uma das fachadas estudadas, permitindo que estes recursos ficassem prontos e organizados para iniciar a criação do modelo 3D com o software AGISOFT *PhotoScan*.

No estudo de caso A o processamento das imagens objetivou a criação do modelo 3D da totalidade da edificação de mediana altura (8 fachadas em um único modelo), buscando avaliar a qualidade visual da reconstrução texturizada para a detecção de manifestações patológicas. Seguidamente foram gerados os ortomosaicos a partir da projeção ortogonal de cada fotografia e seu posicionamento espacial calculado pelo software, tudo isso em base ao modelo 3D inicialmente criado.

Nos estudos de caso B e C as fotografias foram carregadas parcialmente no software da AGISOFT *PhotoScan*. Desta forma, cada fachada foi processada independentemente, carregando cada grupo de fotografias separadamente para cada processamento. Gerando modelos 3D independentes, um para cada fachada analisada, permitindo a produção de ortomosaicos individualmente.

Essa fragmentação geométrica por fachadas justifica-se, principalmente, pelo custo computacional desnecessário que implicaria o processamento de todas as imagens juntas para produzir modelos 3D completos dos estudos de caso B e C. Uma modelagem individual para cada fachada permitiria menor custo de processamento, pela quantidade inferior de imagens processadas a cada vez, visto que esses estudos de caso estão compostos por um número consideravelmente maior de fotografias quando comparados com o estudo de caso A, que não exigiu grande custo computacional para a reconstrução 3D da edificação em um único modelo. A continuação apresenta-se a correspondente sequência das etapas de processamento.

- 1. Alinhamento de fotografias (*Align Photos*):** A primeira etapa do processamento consistiu no alinhamento das imagens, no qual o software buscou semelhanças entre as imagens. Nesta etapa, para o estudo de caso A, também foram inseridos os pontos de apoio coletados em campo utilizados para melhorar a precisão posicional da nuvem de pontos. Por outro lado, para os estudos de caso B e C, não foi necessário incluir esses pontos de apoio adicionais para o processamento, visto que a geometria de cada fachada individual tem menor complexidade quando comparada com o modelo 3D da totalidade da edificação.

Após o alinhamento das fotografias, em cada caso se realizou a eliminação dos pontos não desejados ou ruídos, como: as áreas de superfície mal capturadas, áreas pertencentes a outros objetos ou edificações circundantes e pontos distantes. Obtendo como resultado final desta etapa os modelos de *Tie Points* ou pontos de amarração apresentados nas Figuras 46, 47 e 48. Nuvens de pontos esparsas ou de baixa densidade, que também definem a geometria das edificações.

- 2. Construção da nuvem densa de pontos (*Build dense cloud*):** A partir das respectivas nuvens de *Tie points* de cada edificação, foram construídas as *Dense Clouds* ou nuvens densas de pontos 3D, onde novamente foi realizada a filtragem dos pontos não desejados ou ruídos para a geração dos Modelos Digitais das Superfícies (MDS). Entre os parâmetros selecionados para o processamento, a qualidade (*Quality*) foi a máxima (*High*) e a filtragem de profundidade (*Depth Filtering*) na opção agressiva (*Aggressive*). Em outras palavras, na configuração da densificação escolheu-se no nível mais alto, gerando nuvens de pontos com as quantidades expostas no Quadro 20.

A principal função desta etapa foi incrementar a densidade da nuvem de pontos gerada no processo anterior. Basicamente o software aumentou a quantidade de pontos na nuvem de *tie points* diminuindo os espaços vazios para representar melhor a área mapeada, os modelos gerados nesta etapa são apresentados nas Figuras 46, 47 e 48 com a totalidade dos detalhes geométricos das edificações reconstruídos digitalmente.

- 3. Construção das malhas triangulares (*Build Mesh*):** Na terceira etapa foram construídas as *Mesh* ou malhas, gerada a partir do agrupamento de vértices da nuvem densa de pontos. Dentre os parâmetros selecionados para o processamento, no tipo de superfície (*Surface Type*) opta-se por modelo 3D arbitrário; na origem dos dados (*Source Data*) foi selecionada a construção das malhas a partir das nuvens de pontos densas para cada estudo de caso; e na contagem de faces (*Face Count*) foi selecionado o nível mais alto. O modelo 3D gerado nesta etapa é apresentado nas Figuras 46, 47 e 48, com os números de faces ou polígonos adjacentes descritos no Quadro 20, que compartilham arestas das superfícies de fronteira dos objetos que compõem as fachadas.
- 4. Construção da textura (*Build texture*):** Com os modelos de malhas triangulares construídos, foram aplicadas texturas nos modelos tridimensionais objetivando melhorar a sua qualidade visual com o intuito da detecção de manifestações patológicas nas fachadas. Dentre os parâmetros selecionados para o processamento, no modo de mapeamento (*Mapping mode*) foi escolhida a opção ortofoto adaptativa (*Adaptive orthophoto*).

No modo de mesclagem (*Blending mode*) opta-se pelo tipo mosaico (*Mosaic*), permitindo melhor qualidade nas ortoimagens. Os modelos 3D texturizado gerados nesta etapa são apresentados nas Figuras 46, 47 e 48, porém a qualidade visual destes modelos resulta insuficiente para exibir a totalidade das manifestações patológicas nas fachadas, observando-se pequenas distorções na geometria dos mesmos, defeito transmitido à textura aplicada, gerando dificuldade na visualização de manifestações patológicas quando é realizado zoom nos modelos.

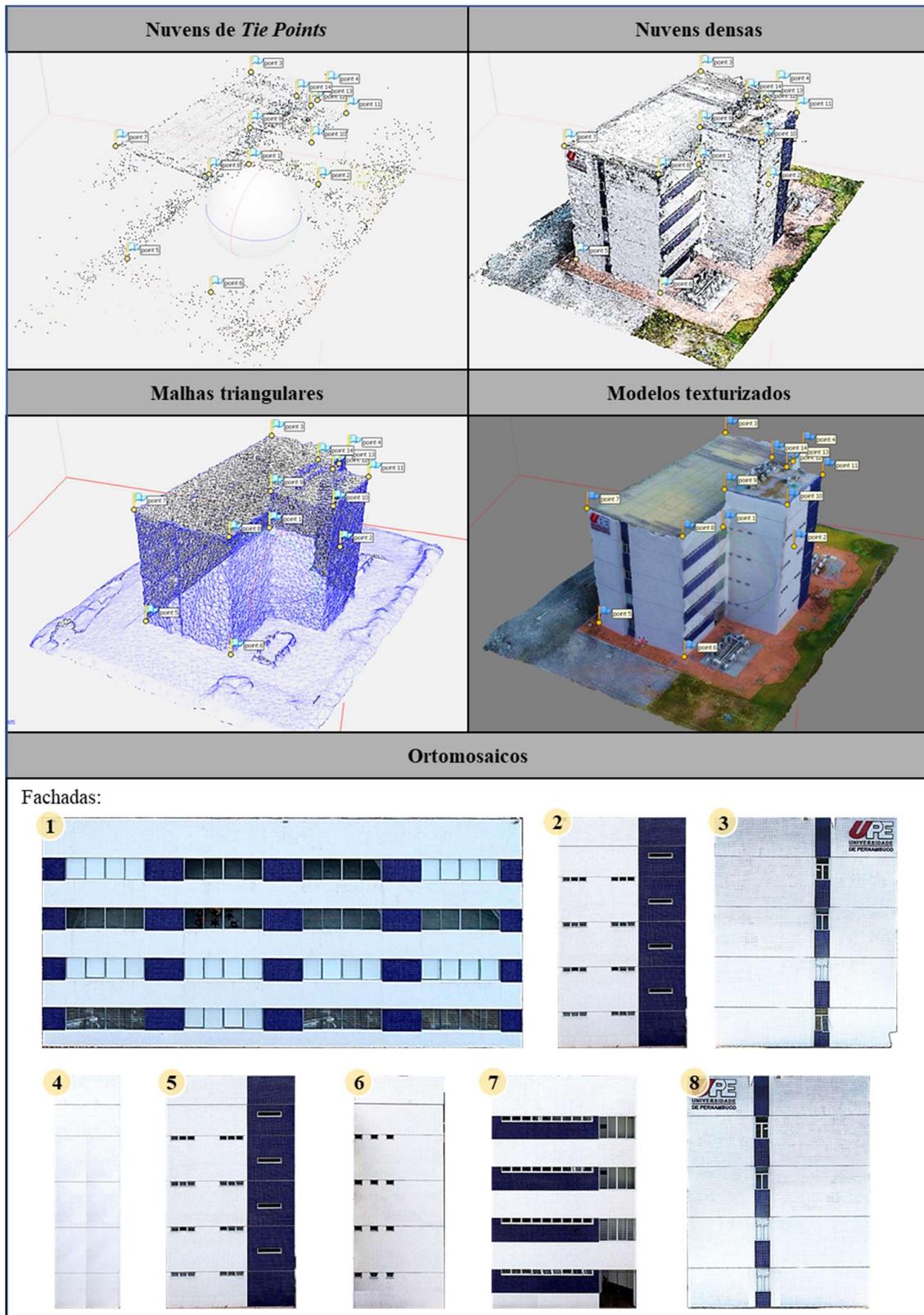
5. **Construção do ortomosaíco (*Build orthomosaic*):** Para um resultado mais criterioso foram criados os ortomosaícos de cada fachada da edificação. Assim, a partir da nuvem densa de pontos, o software projetou ortogonalmente cada uma das fotografias da fachada selecionada, realizando a mosaicagem das ortofotos e criando um único produto em cada fachada, processo que foi realizado para cada uma das fachadas dos 3 estudos de caso. Para todas as exportações das ortoimagens, o formato de arquivo utilizado foi o TIFF (*Tagged Image File Format*) e a resolução foi definida em função da quantidade de pixels no sentido da maior dimensão da imagem, selecionando a opção *Max. Dimension (pix)*. Os resultados obtidos nesta exportação são exemplificados nas Figuras 46, 47 e 48. Esses recursos retratam adequadamente a reconstrução geométrica das fachadas e exibem maior qualidade visual quando comparada com o modelo 3D.

Quadro 20: Conformação quantitativa dos modelos gerados

Estudo de caso	Modelo	Nuvens de <i>Tie points</i>	Nuvens densas	Malhas triangulares
A	Completo	31.578 <i>points</i>	22.767.991 <i>points</i>	533.755 <i>faces</i>
B	Fachada 1	72.041 <i>points</i>	42.477.111 <i>points</i>	8.495.421 <i>faces</i>
	Fachada 2	21.050 <i>points</i>	37.114.911 <i>points</i>	6.312.721 <i>faces</i>
	Fachada 3	53.137 <i>points</i>	40.121.331 <i>points</i>	7.127.355 <i>faces</i>
	Fachada 4	25.727 <i>points</i>	29.024.291 <i>points</i>	5.804.857 <i>faces</i>
C	Fachada 1	68.814 <i>points</i>	39.353.255 <i>points</i>	7.970.652 <i>faces</i>
	Fachada 2	201.780 <i>points</i>	155.878.710 <i>points</i>	26.878.327 <i>faces</i>
	Fachada 3	57.506 <i>points</i>	34.950.011 <i>points</i>	7.230.127 <i>faces</i>
	Fachada 4	206.034 <i>points</i>	151.565.231 <i>points</i>	25.587.336 <i>faces</i>

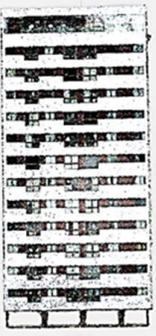
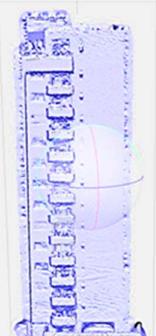
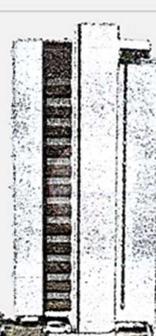
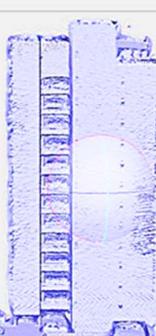
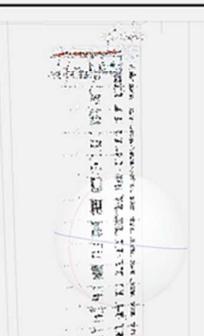
Fonte: Autor (2020)

Figura 46: Sequência de processamento estudo de caso A



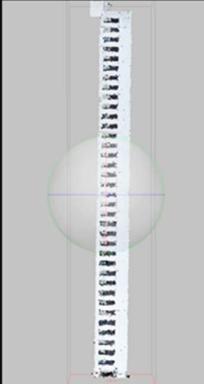
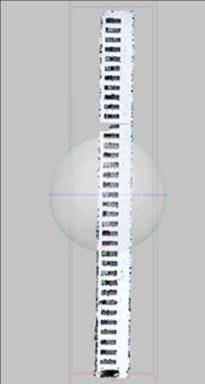
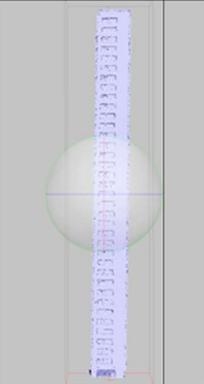
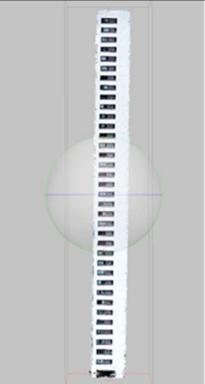
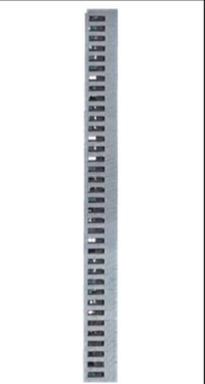
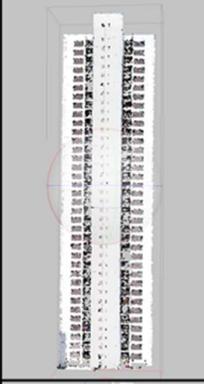
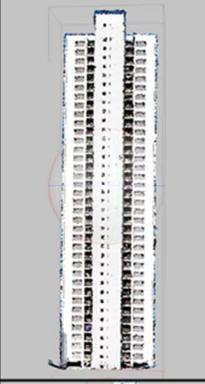
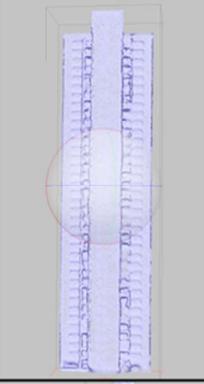
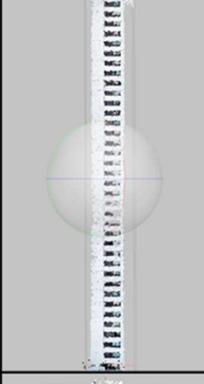
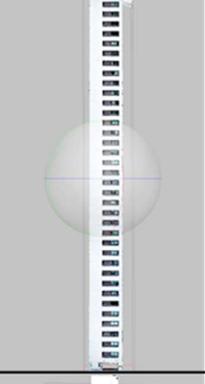
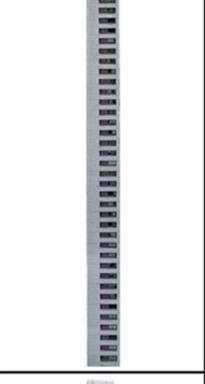
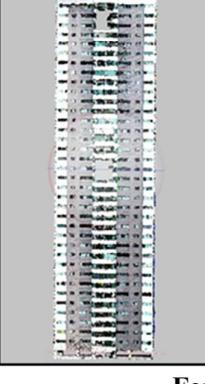
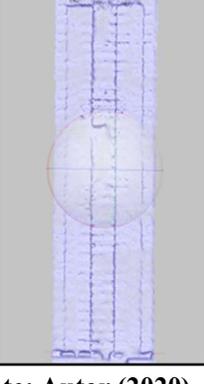
Fonte: Autor (2020)

Figura 47: Sequência de processamento estudo de caso B

	Nuvens de Tie Points	Nuvens densas	Malhas triangulares	Modelos texturizados	Ortomosaicos
Fachada 1					
Fachada 2					
Fachada 3					
Fachada 4					

Fonte: Autor (2020)

Figura 48: Sequência de processamento estudo de caso C

	Nuvens de Tie Points	Nuvens densas	Malhas triangulares	Modelos texturizados	Ortomosaicos
Fachada 1					
Fachada 2					
Fachada 3					
Fachada 4					

Fonte: Autor (2020)

6.2.5 Detecção de manifestações patológicas

O procedimento de detecção de manifestações patológicas foi realizado por meio de inspeção visual de todos os recursos gerados: ortomosaicos, modelos 3D e fotografias digitais. Cada um deles contribuindo com diferentes qualidades visuais que ajudaram no processo de detecção.

Entre as características preliminarmente observadas nos três tipos de recursos visuais gerados (fotos digitais, modelos 3D e ortomosaicos), os modelos 3D apresentam resultados satisfatórios em termos da sua reconstrução geométrica, ajudando na visualização espacial do edifício. Por outro lado, os ortomosaicos, além de excelente resolução espacial, representaram fielmente a vista ortogonal da fachada, facilitando a localização das manifestações patológicas no plano geral de cada fachada. Finalmente, as fotografias digitais originais, sendo um recurso que não sofreu retificações ou distorções, apresentaram a melhor qualidade entre todos os ativos visuais gerados, assim proporcionando maior fiabilidade para a inspeção visual.

Conseqüentemente, para iniciar a inspeção visual das manifestações patológicas nos sistemas de revestimento cerâmico das edificações, foram agrupados todos os ativos visuais gerados na pesquisa experimental, ordenados em função do estudo de caso, número de fachada e tipo de recurso produzido (fotografias digitais, modelos 3D e ortomosaicos).

Na sequência, a inspeção visual foi realizada individualmente para cada ativo visual registrando o número de manifestações patológicas detectadas (Quadro 21). A inspeção visual foi realizada de cima para baixo e de esquerda para direita, assim, todas as suspeitas de manifestações patológicas foram confirmadas mediante as fotografias digitais originais.

A qualidade visual das fotografias originais pode ser melhorada, particularmente para a visualização das manifestações patológicas por meio da segmentação binária das imagens. Resumidamente, essa segmentação é a representação ou transformação da imagem em dois tons, preto e branco (MELO JR., 2016). Desse modo foi possível detectar eficientemente manifestações patológicas menores, como fissuras ou pequenas ocorrências de mofo.

Conseqüentemente, conforme o Quadro 21 foi possível perceber diferenças significativas na quantidade de achados entre os estudos de caso. Por um lado, o estudo de caso A teve menor incidência de manifestações patológicas, neste edifício com 2 anos de idade, o sistema de revestimento ainda não apresenta danos consideráveis pelo uso da edificação ou pela agressividade do meio, conseqüentemente, a ocorrência de manifestações patológicas não é

significativa. Por outro lado, os estudos de caso B e C sendo edifícios com maior antiguidade, aproximadamente 10 e 5 anos de idade respectivamente, revelaram maior ocorrência de manifestações patológicas após a inspeção visual.

Quadro 21: Manifestações patológicas detectadas por produto

Fachada	Tipo	Número de manifestações patológicas detectadas		
		Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
Estudo de caso A	Fissura e trincas	1	0	0
	Eflorescência	5	2	5
	Destacamento	0	0	0
	Mofo	1	0	0
	TOTAL	7	2	5
Estudo de caso B	Fissura e trincas	7	1	2
	Eflorescência	12	3	8
	Destacamento	0	0	0
	Mofo	5	1	1
	TOTAL	24	5	11
Estudo de caso C	Fissura e trincas	36	1	4
	Eflorescência	15	5	5
	Destacamento	8	2	8
	Mofo	48	12	30
	TOTAL	107	20	47

Fonte: Autor (2020)

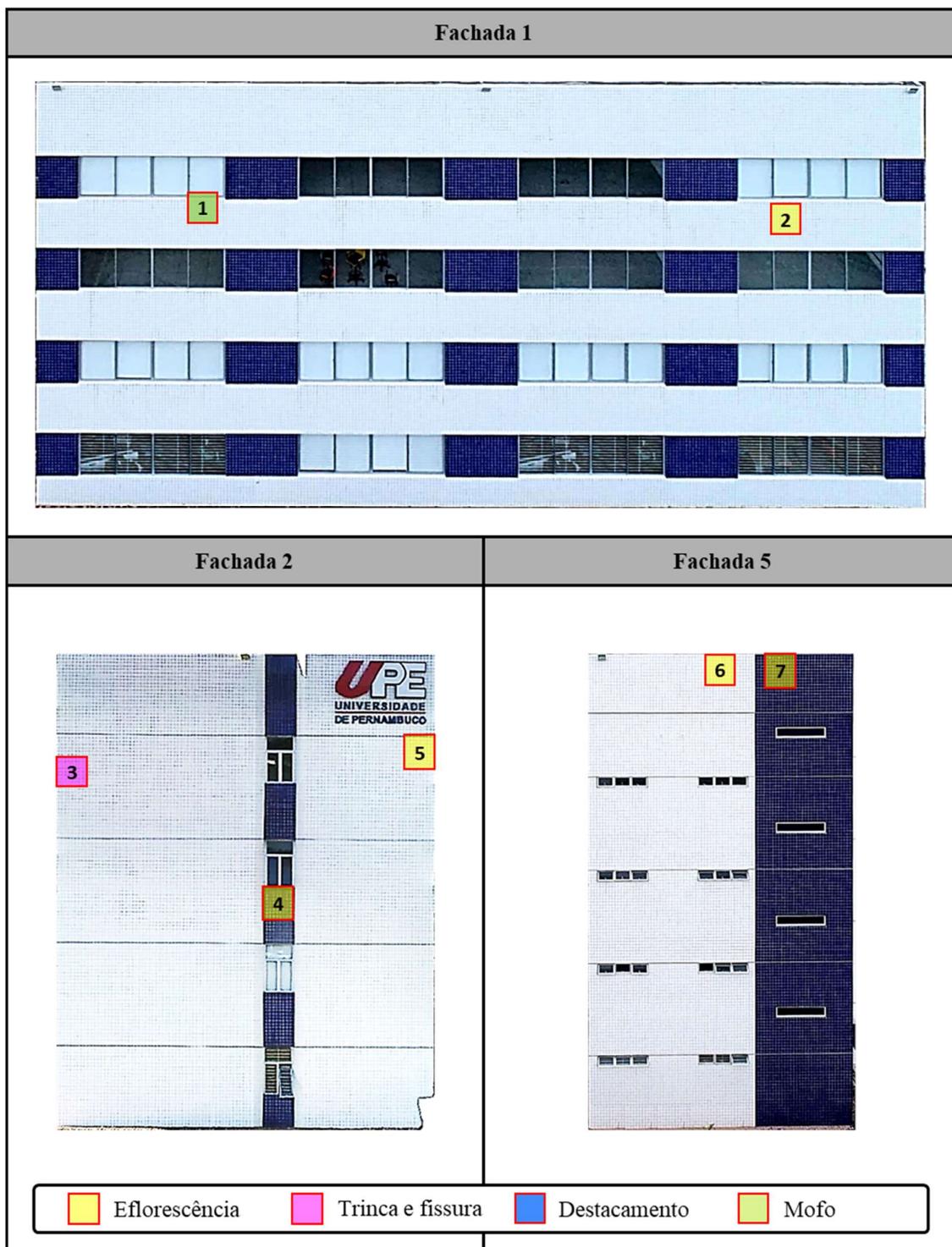
No estudo de caso A foram visualizadas manifestações patológicas nas Fachadas 1, 2 e 5, contabilizando um total de 7 manifestações patológicas detectadas: 5 de eflorescência, 1 de fissura e 1 de mofo. A localização espacial dos achados na vista ortogonal é apresentada na Figura 49, assim, cada manifestação patológica é representada numericamente no ortomosaico produzido no software AGISOFT *PhotoScan*. Por sua vez, cada achado foi verificado mediante as fotografias digitais originais e binarizadas. O detalhamento destas manifestações patológicas é apresentado no Apêndice 8, o qual foi resumido no Quadro 22.

Quadro 22: Manifestações patológicas estudo de caso A

N	Fachada	Tipo	Produtos que permitem visualização do achado		
			Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
1	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✗
2	Fachada 1	Eflorescência	✓	✓	✓
3	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
4	Fachada 2	Eflorescência	✓	✓	✓
5	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✓
6	Fachada 5	Eflorescência	✓	✗	✓
7	Fachada 5	Eflorescência	✓	✗	✓

Fonte: Autor (2020)

Figura 49: Mapa de danos estudo de caso A



Fonte: Autor (2020)

Já no estudo de caso B foi visualizada a ocorrência de manifestações patológicas em todas as fachadas estudadas, totalizando 24 manifestações patológicas detectadas. Entre as quais, 12 foram atribuídas a eflorescência, 7 a trincas e fissuras e finalmente 5 a mofo, ressaltando que neste estudo de caso mais da metade destas manifestações patológicas foram detectadas exclusivamente por meio das fotografias originais, visto que o modelo 3D e o ortomosaico não permitiram enxergar as manifestações patológicas de menor tamanho.

Do mesmo modo, percebe-se que a maior incidência destas manifestações patológicas foi identificada no terço superior da edificação, com um 87,50% dos achados, 8,33% no terço inferior e 4,17% no terço intermédio. A localização espacial dos achados na vista ortogonal é apresentada na Figura 50. Por sua vez, cada manifestação patológica foi verificada mediante as fotografias digitais originais e binarizadas conforme o Apêndice 9, o mesmo que se apresenta resumido no Quadro 23.

Quadro 23: Manifestações patológicas estudo de caso B

N	Fachada	Tipo	Produtos que permitem a visualização do achado		
			Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
1	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✗
2	Fachada 1	Trinca	✓	✓	✓
3	Fachada 2	Mofo	✓	✗	✗
4	Fachada 2	Trinca e Fissura	✓	✗	✗
5	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
6	Fachada 2	Eflorescência	✓	✓	✓
7	Fachada 2	Trinca	✓	✗	✗
8	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
9	Fachada 2	Mofo	✓	✓	✗
10	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✗
11	Fachada 3	Eflorescência	✓	✓	✓
12	Fachada 3	Eflorescência	✓	✓	✓
13	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✓
14	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✓
15	Fachada 3	Trinca	✓	✗	✓
16	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✓
17	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✓
18	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗
19	Fachada 4	Mofo	✓	✗	✓
20	Fachada 4	Eflorescência	✓	✓	✓
21	Fachada 4	Eflorescência	✓	✗	✗
22	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗
23	Fachada 4	Mofo	✓	✗	✗
24	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗

Fonte: Autor (2020)

Figura 50: Mapa de danos estudo de caso B



(Continuação)



Fonte: Autor (2020)

Finalmente, no estudo de caso C também foram detectadas a ocorrência de manifestações patológicas em todas as fachadas estudadas, totalizando 107. Entre as quais, 48 correspondem a mofo, 36 fissuras e trincas, 15 atribuídas a eflorescência e 8 destacamentos cerâmicos. A localização espacial dos achados na vista ortogonal é apresentada na Figura 51. Por sua vez, cada manifestação patológica foi verificada mediante as fotografias digitais originais e binarizadas conforme o Apêndice 10, o mesmo que se apresenta resumido no Quadro 24.

Da mesma forma que no estudo de caso B, neste estudo de caso mais da metade das manifestações patológicas foram exibidas e detectadas exclusivamente por meio do conjunto de fotografias digitais simples coletadas com o VANT, confirmando que esse tipo de ativo visual é o mais efetivo para detecção de manifestações patológicas. Ainda com o inconveniente de que cada fotografia apenas representava uma região parcial da fachada a cada vez, foi o recurso que apresentou maior qualidade visual, justificado por não apresentar nenhum tipo de distorção característica dos produtos processados (modelos 3D e ortomosaicos).

Quadro 24: Manifestações patológicas estudo de caso C

N	Fachada	Tipo	Produtos que permitem a visualização do achado		
			Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
1	Fachada 1	Destacamento	✓	✓	✓
2	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
3	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
4	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
5	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
6	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
7	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
8	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✓
9	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
10	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
11	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
12	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
13	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
14	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
15	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
16	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
17	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
18	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
19	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✗
20	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓
21	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
22	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✗
23	Fachada 1	Mofo	✓	✗	✓

Quadro 24: Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)					
N	Fachada	Tipo	Produtos que permitem a visualização do achado		
			Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
24	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
25	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
26	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✓
27	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
28	Fachada 1	Eflorescência	✓	✗	✗
29	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
30	Fachada 1	Fissura	✓	✗	✗
31	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
32	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✓
33	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
34	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
35	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✓
36	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✓
37	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
38	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✓
39	Fachada 1	Mofa	✓	✗	✗
40	Fachada 1	Mofa	✓	✓	✓
41	Fachada 2	Mofa	✓	✓	✓
42	Fachada 2	Eflorescência	✓	✓	✓
43	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
44	Fachada 2	Trinca	✓	✓	✓
45	Fachada 2	Mofa	✓	✗	✗
46	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
47	Fachada 2	Eflorescência	✓	✓	✓
48	Fachada 2	Mofa	✓	✗	✗
49	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
50	Fachada 2	Mofa	✓	✓	✓
51	Fachada 2	Mofa	✓	✗	✗
52	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
53	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
54	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
55	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
56	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
57	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
58	Fachada 2	Mofa	✓	✗	✓
59	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
60	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
61	Fachada 2	Mofa	✓	✓	✓
62	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
63	Fachada 2	Fissura	✓	✗	✗
64	Fachada 2	Mofa	✓	✓	✓
65	Fachada 2	Eflorescência	✓	✗	✗
66	Fachada 3	Mofa	✓	✗	✗

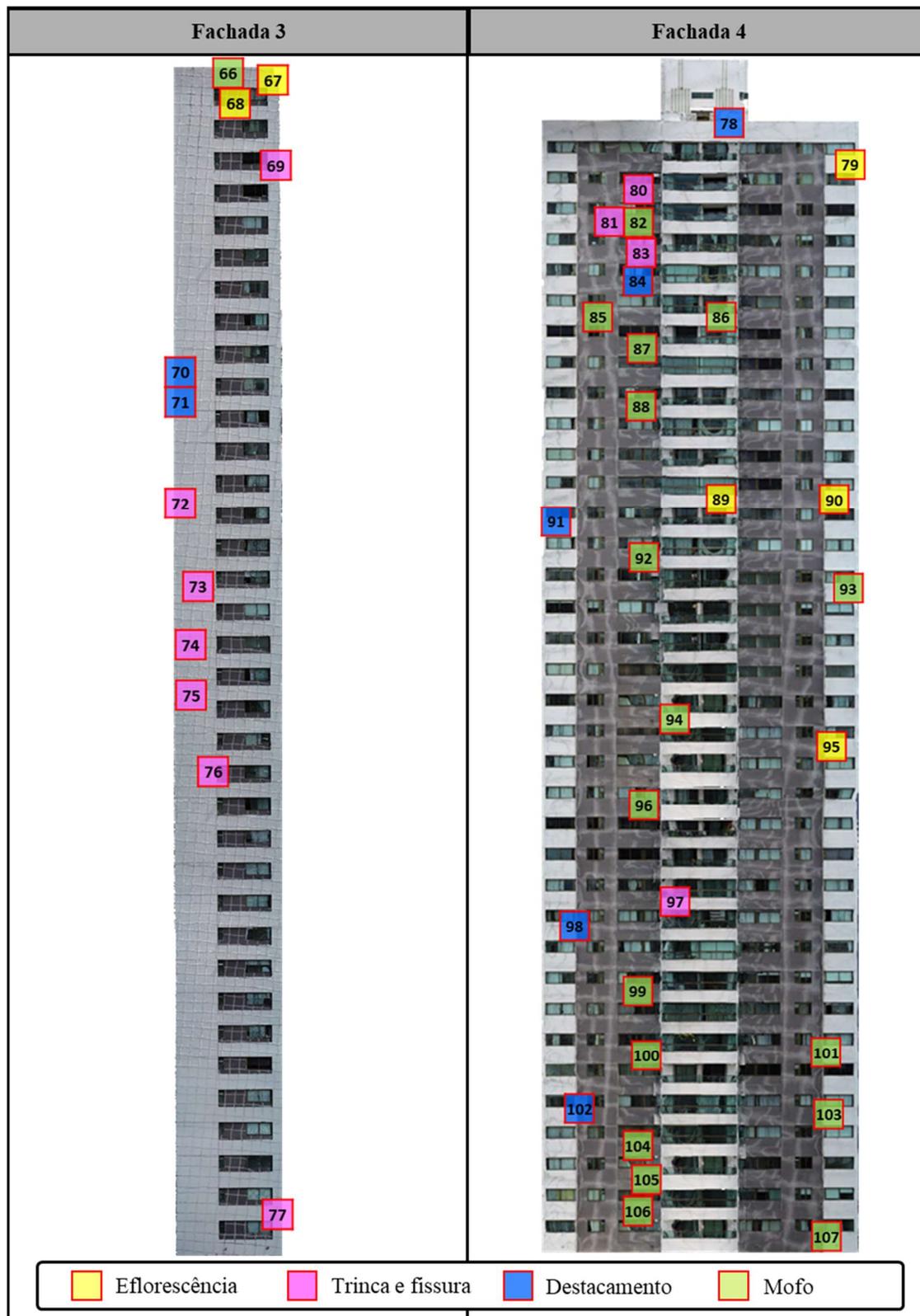
Quadro 24: Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)					
N	Fachada	Tipo	Produtos que permitem a visualização do achado		
			Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
67	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✗
68	Fachada 3	Eflorescência	✓	✗	✗
69	Fachada 3	Trinca	✓	✗	✓
70	Fachada 3	Destacamento	✓	✗	✓
71	Fachada 3	Destacamento	✓	✗	✓
72	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
73	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
74	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
75	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
76	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
77	Fachada 3	Fissura	✓	✗	✗
78	Fachada 4	Destacamento	✓	✗	✓
79	Fachada 4	Eflorescência	✓	✓	✓
80	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗
81	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗
82	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
83	Fachada 3	Trinca	✓	✗	✓
84	Fachada 3	Destacamento	✓	✗	✓
85	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
86	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✓
87	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
88	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
89	Fachada 4	Eflorescência	✓	✓	✓
90	Fachada 4	Eflorescência	✓	✗	✗
91	Fachada 4	Destacamento	✓	✗	✓
92	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
93	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
94	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
95	Fachada 4	Eflorescência	✓	✓	✓
96	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
97	Fachada 4	Fissura	✓	✗	✗
98	Fachada 4	Destacamento	✓	✗	✓
99	Fachada 4	Mofó	✓	✓	✓
100	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
101	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
102	Fachada 4	Destacamento	✓	✓	✓
103	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
104	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✓
105	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✓
106	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✗
107	Fachada 4	Mofó	✓	✗	✓

Fonte: Autor (2020)

Figura 51: Mapa de danos estudo de caso C



(Continuação)



Fonte: Autor (2020)

6.3 Análise dos resultados

Após a finalização do procedimento de inspeção e detecção de manifestações patológicas nos 3 estudos de caso, foi realizada uma análise global das etapas de coleta de imagens, processamento computacional e o procedimento de detecção de manifestações patológicas, objetivando determinar o ativo visual mais apropriado e propor as diretrizes para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas.

6.3.1 Análise da captura de imagens

A aplicação do protocolo de atividades a realizar na etapa de pré-execução e execução, juntamente com a técnica de captura de imagens apresentadas neste trabalho, originou um conjunto de 169, 273 e 942 imagens nos estudos de caso A, B e C respectivamente, que sozinhas representam um tipo de ativo visual valioso das edificações estudadas, proporcionando cobrimentos com a sobreposição propícia para a reconstrução digital, situação que corrobora o satisfatório desempenho do protocolo e da técnica de captura proposta. Em suma, o cobertura garantiu o registro de todas as regiões da fachada em diversos ângulos.

No estudo de caso A, baseando-se nos registros do formulário de planejamento, *checklist* para missão e observações diretas do pesquisador, foi evidenciada menor presença de obstáculos, como por exemplo: edificações elevadas circundantes, ruas com elevado fluxo veicular, postes, árvores, fiações elétricas, condições meteorológicas adversas não previstas, ou limitações de voo inerentes às regulamentações. Do mesmo modo, percebe-se facilidade no acesso a locais propícios para decolagem e pouso com o VANT, sendo necessário o uso de apenas dois dos quatro locais previstos para esse propósito.

Por outro lado, nos estudos de caso B e C, a operação do VANT teve uma dificuldade maior em virtude das características geométricas das edificações e suas localizações em áreas urbanas densamente habitadas. Com pontos de decolagem e pouso restringidos e com menor área quando comparados com o primeiro estudo de caso, somado a obstáculos como edificações de mediana e grande altura circundantes e próximas a ambas edificações estudadas, além de ruas de elevado fluxo veicular nas imediações, a decolagem e o pouso tiveram que ser realizados no primeiro andar destinado a estacionamentos da edificação, conforme o planejado.

Em suma, outras barreiras físicas prejudicaram a operação do VANT no estudo de caso B, como o chuvisco intermitente e a presença de fortes correntes de vento nos primeiros metros da edificação (comportamento causado pelo conjunto de características geométricas dos edifícios próximos e o edifício estudado), situação que dificultou a decolagem e o pouso da aeronave.

Assim, foi realizada uma apreciação qualitativa do efeito do vento em relação à altura das edificações inspecionadas. Destacando que essa análise unicamente tem o intuito de transmitir a percepção do piloto durante a operação da aeronave durante a coleta de fotografias (sensação de pilotagem), baseando-se estritamente na experiência piloto dos três estudos de caso realizados. Não sendo incluídos dados quantitativos, como por exemplo, a velocidade real do vento nas diferentes alturas (calculada com anemômetro), nem simulações do comportamento do vento com softwares especializados que devem analisar os múltiplos fatores que influenciam o mesmo, como por exemplo, a região, temperatura ambiente, orientação da edificação, geometria das fachadas, características de edificações adjacentes, entre outros.

Sendo assim, a continuação é descrita a percepção do piloto no que diz respeito ao efeito do vento em função da altura. Para isso, define-se três altitudes diferentes, produto da divisão da altura do edifício de maior porte (estudo de caso C) em terços iguais: superior, intermédio e inferior. Desta forma, as características percebidas na pilotagem são sintetizadas no Quadro 25.

Quadro 25: Efeito do vento em função da altura

Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C	Percepção do efeito do vento
<p>Terço superior: $80\text{ m} < H \leq 120\text{ m}$</p> 			Embora a altura superior esteja relacionada à maior velocidade do vento, percebeu-se maior uniformidade na velocidade e direção do mesmo, portanto menor efeito do vento sobre a aeronave, tornando a operação mais simples quando comparada com as outras seções.
	<p>Terço intermédio: $40\text{ m} < H \leq 80\text{ m}$</p> 		Maior variabilidade na velocidade e direção do vento em períodos curtos de tempo, no entanto, essa variabilidade não prejudica na operação da aeronave visto que o sistema autônomo de estabilização resulta suficiente para compensar as movimentações geradas pelo vento.
<p>Terço inferior: $0\text{ m} < H \leq 40\text{ m}$</p> 			O vento bate com maior força na aeronave, dificultado a manobrabilidade da mesma, podendo ser produto dos corredores de vento formados entre a edificação estudada e outras edificações adjacentes de menor altura.

Fonte: Autor (2020)

Particularmente, quanto à captura de imagens, as dificuldades relativas ao vento não afetaram na qualidade dos ativos visuais gerados nem os resultados esperados. Isto é justificado particularmente porque o VANT *Phantom 4 ProV2.0* não transmitiu à câmera os movimentos indesejados gerados pelo vento ou pelo mesmo deslocamento do VANT. Em sua maioria, todas essas movimentações foram absorvidas pelo estabilizador *gimbal*.

Outro aspecto importante, pertinente à tecnologia do VANT, é relativo ao tempo de autonomia das baterias, e conseqüentemente, a necessidade da otimização do processo de coleta de imagens. Neste sentido, o protocolo de atividades a realizar demonstrou ser uma ferramenta ideal para a estruturação passo a passo desta atividade, derivando na realização de um procedimento efetivo, eficiente e estruturado para os estudos de caso.

Lembrando que para o presente estudo foi utilizada unicamente uma bateria do VANT, e sendo a autonomia máxima estipulada pelo fabricante de 30 minutos que, na prática, para um voo seguro resulta em torno de 26 minutos por bateria, é considerado um aspecto limitador para a obtenção do número de imagens necessárias para recobrimento total das áreas de interesse, sendo que quando a bateria esgotava, eram necessárias aproximadamente 2 horas para recarregá-la. Tempo suficiente para criar variações na iluminação natural dos edifícios que, retratadas nas fotografias, podem chegar a prejudicar no processamento das imagens na etapa de *stereo matching* (falha no reconhecimento de pixels em imagens dos mesmos elementos), ressaltando a importância de realizar a captura de imagens da fachada inteira em situações de iluminação muito próximas entre cada fotografia.

Quanto à legalidade do procedimento de captura de imagens, enfatiza-se a importância de receber a autorização explícita do responsável da edificação. Visto que para viabilizar a execução do procedimento em áreas urbanas densamente habitadas, conforme as regulamentações brasileiras, deve-se usar unicamente o espaço aéreo compreendido no princípio de sombra da edificação. No caso de edificações habitacionais, como no caso do estudo de caso B, também recomenda-se notificar aos moradores do prédio para evitar qualquer possibilidade de acidente ou desconforto por invasão da privacidade durante a etapa de captura de imagens.

6.3.2 Análise do processamento

Na etapa de processamento das imagens através do AGISOFT *PhotoScan* foram gerados 9 modelos digitais 3D (Figuras 52, 53 e 54). O primeiro correspondente ao estudo de caso A, com uma nuvem densa que superou os 22 milhões de pontos e mais de 500 mil faces construídas no *mesh*; os quatro seguintes retratam o estudo de caso B, totalizando mais de 148 milhões de pontos na nuvem densa e 27 milhões de faces construídas no *mesh*; e finalmente, os quatro últimos correspondem ao estudo de caso C, com 382 milhões de pontos na nuvem densa e 67 milhões de faces no *mesh*. Essas nuvens são recursos valiosos, que podem ser exportadas e trabalhadas em diversos aplicativos de modelagem 3D, plataformas BIM ou em ortomosaicos, como nos casos de estudo desta pesquisa.

Figura 52: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso A



Fonte: Autor (2020)

Figura 53: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso B



Fonte: Autor (2020)

Figura 54: Modelos digitais 3D gerados estudo de caso C

Fonte: Autor (2020)

Nesta etapa de processamento, o critério analisado com maior destaque foi o tempo total de processamento computacional no AGISOFT *PhotoScan*, para que os mapeamentos 3D fossem completamente densificados e texturizados. Não obstante, não foi registrado o tempo inicial gasto em eventuais etapas de processamentos teste ou de alguns mapeamentos 3D que necessitaram reprocessamento devido algum erro, considerando que a ocorrência deste tipo de eventualidade não foi significativa e esteve associada, na maioria dos casos, a erros do usuário, como a escolha inadequada de pontos de referência nas imagens carregadas ou sobrecarga dos processos no CPU do computador.

Assim, no processamento foi percebido que para todos os mapeamentos 3D dos estudos de caso, quanto maior o número de imagens utilizadas, maior tempo de processamento no software AGISOFT *PhotoScan*. Tempo que, quando dividido nas diferentes etapas de processamento, apresenta os valores expostos na Figura 55, calculados a partir das medias aritméticas dos tempos registrado nos estudos de caso A, B e C.

Adicionalmente, no Quadro 26 são apresentados os tempos detalhados para cada etapa de processamento de todos os mapeamentos 3D gerados no software AGISOFT *PhotoScan*, para os estudos de caso A e B respectivamente, além da quantidade de fotografias digitais utilizadas em cada mapeamento e os parâmetros mais relevantes considerados no processamento.

Quadro 26: Tempo de processamento AGISOFT *PhotoScan*

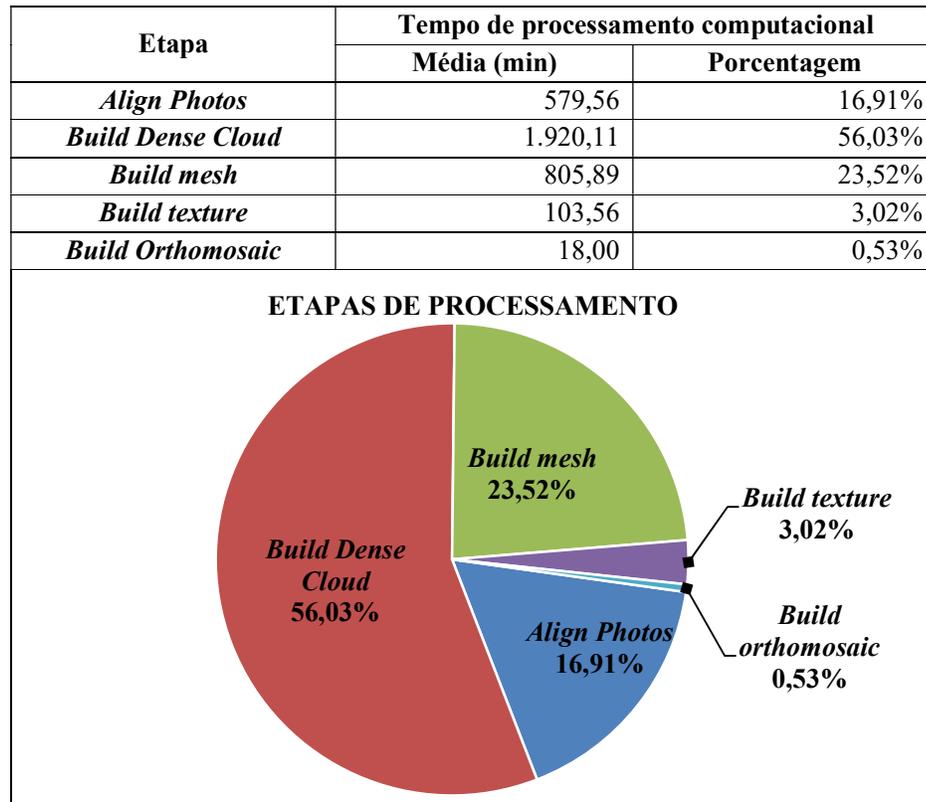
Estudo de Caso	Etapa	Parâmetros		Tempo de Processamento
A (169 Imagens)	Align Photos	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	939 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	31.578	
	Build Dense Cloud	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	2.560 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	22.767.991	
	Build mesh	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	725 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	533.755	
	Build texture	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	155 min
		<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>	
	Build Orthomosaic	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	28 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
TOTAL ESTUDO DE CASO A			4.407 min (73h 27min)	
B Fachada 1 (97 Imagens)	Align Photos	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	516 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	72.041	
	Build Dense Cloud	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	1.564 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	42.477.111	
	Build mesh	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	980 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	8.495.421	
	Build texture	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	112 min
		<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>	
	Build Orthomosaic	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	7 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
B Fachada 2 (49 Imagens)	Align Photos	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	192 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	21.050	
	Build Dense Cloud	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	1.005 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	37.114.911	
	Build mesh	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	657 min
		<i>Face count:</i>	<i>Medium</i>	
		Faces:	6.312.721	
	Build texture	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	74 min
		<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>	
	Build Orthomosaic	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	5 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		

Quadro 26: Tempo de processamento AGISOFT <i>PhotoScan</i> (Continuação)				
Estudo de Caso	Etapa	Parâmetros	Tempo de Processamento	Estudo de Caso
B Fachada 3 (101 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	827 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	53.137	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	1.579 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	40.121.331	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	1.019 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	7.127.355	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	89 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	25 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		
B Fachada 4 (26 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	142 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	25.727	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	777 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	29.024.291	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	395 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	5.804.857	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	17 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	3 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		
TOTAL ESTUDO DE CASO B			9.985 min (166h 17min)	
C Fachada 1 (62 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	423 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	68.814	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	1.421 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	39.353.255	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	723 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	7.970.652	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	62 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	15 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		

Quadro 26: Tempo de processamento AGISOFT <i>PhotoScan</i> (Continuação)				
Estudo de Caso	Etapa	Parâmetros	Tempo de Processamento	Estudo de Caso
C Fachada 2 (412 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	923 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	201.780	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	3.843 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	155.878.710	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	1.086 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	26.878.327	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	193 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	31 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		
C Fachada 3 (63 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	353 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	57.506	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	1.208 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	34.950.011	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	677 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	7.230.127	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	63 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	12 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		
C Fachada 4 (405 Imagens)	<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy:</i>	<i>Highest</i>	901 min
		<i>Pair preselection:</i>	<i>Generic</i>	
		Nuvem Esparsa:	206.034	
	<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality:</i>	<i>High</i>	3.324 min
		<i>Depth filtering:</i>	<i>Aggressive</i>	
		Nuvem densa:	151.565.231	
	<i>Build mesh</i>	<i>Surface type:</i>	<i>Arbitrary 3D</i>	991 min
		<i>Face count:</i>	<i>High</i>	
		Faces:	25.587.336	
	<i>Build texture</i>	<i>Mapping mode:</i>	<i>Adaptive orthophoto</i>	167 min
<i>Blending mode:</i>		<i>Mosaic</i>		
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Type</i>	<i>Planar</i>	36 min	
	<i>Blending mode:</i>	<i>Mosaic</i>		
TOTAL ESTUDO DE CASO C			16.652 min (277h 32min)	

Fonte: Autor (2020)

Figura 55: Porcentagens relativos ao tempo de cada etapa do processamento



Fonte: Autor (2020)

Assim, o tempo total de processamento registrado para reconstrução 3D dos estudos de caso A, B e C foram de 4.407, 9.985 e 16.652 minutos registrados, respetivamente. A grande diferença entre os tempos do processamento é justificada pela estratégia de processamento adotada. No primeiro caso foi criado unicamente um modelo 3D que, embora permita acelerar o processamento, não permitiu o alinhamento da totalidade das fotografias carregadas, consequentemente diminuindo a qualidade do produto. Por outro lado, nos estudos de caso B e C o processamento individualizado para cada fachada facilitou a compreensão espacial pelo software e por conseguinte, permitiu o alinhamento da totalidade das fotografias carregadas para cada modelo das fachadas.

Analisando individualmente as diferentes etapas de processamento, tanto para os mapeamentos do estudo de caso A quanto os do B e C, a etapa que demandou mais tempo foi a de construção da nuvem densa de pontos (*build dense cloud*) com o 56,03% do tempo total de processamento, seguida da construção das malhas triangulares (*build mesh*) com 23,52%, alinhamento das fotografias e marcação dos pontos (*align fotos*) com 16,91%, construção da textura (*build texture*) com 3,02% e finalmente a construção do ortomosaico (*build orthomosaic*) com 0,53%.

Ressaltando que quanto maior o padrão de qualidade exigido no processamento dos modelos, traduzidos por parâmetros mais elevados, melhor será a qualidade visual do produto final, porém o tempo de processamento também pode ser drasticamente incrementado, o que algumas vezes pode não justificar a escolha de parâmetros mais elevados.

Resumidamente, o tempo de processamento está relacionado diretamente à combinação de diferentes fatores, como por exemplo: às características do hardware e software dos computadores usados, ao número de imagens carregadas para a reconstrução 3D, aos critérios e parâmetros de processamento escolhidos e algoritmos e particularidades de processamento do software de fotogrametria digital.

Segundo as especificações sugeridas pelo fabricante do software *PhotoScan* (AGISOFT, 2018), os computadores utilizados atenderam completamente, e na maioria dos quesitos superaram, as características mínimas de hardware e software requeridas para o funcionamento adequado do mesmo.

No entanto, particularmente quanto às características recomendadas para o processamento de até 300-400 fotografias com resolução da ordem de 10 megapixels, o fabricante sugere uma configuração de *Windows 7 SP 1* ou superior, processador Intel Core i7 e 16 GB de RAM (AGISOFT, 2018), características atendidas apenas pelo primeiro computador (Dell).

Por outro lado, o computador (Acer), não atingiu às recomendações de RAM, não obstante com uma memória de 12 GB, tal discrepância não afetou consideravelmente os resultados esperados, isto porque unicamente foi percebido um pequeno incremento no tempo do processamento.

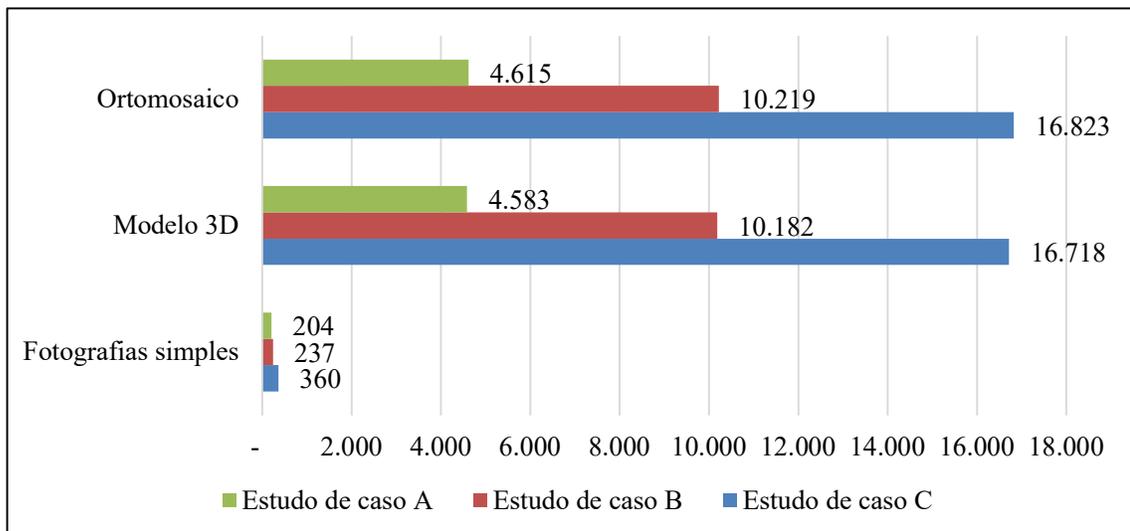
Os quesitos tempo de processamento, qualidade requerida, hardware e software disponível (computador) devem ser analisados e combinados de forma que o produto final esteja de acordo com o propósito da modelagem 3D, e ao tempo que se dispõe para a realização de tal processamento. Caso o tempo não seja algo limitador, vale a pena a escolha dos parâmetros mais elevados de processamento oferecidos pelo software, gerando modelos geométricos mais detalhados e com maior qualidade visual, permitindo prover melhores recursos para a detecção de manifestações patológicas.

Finalmente, no Quadro 27 são sintetizados os tempos empregados para produzir cada um dos três ativos visuais gerados na pesquisa experimental (fotografias digitais, modelo 3D e ortomosaicos), tempos também exemplificados graficamente na Figura 56.

Quadro 27: Detalhamento de tempos para produção de cada ativo visual

Etapa de produção	Tempo de produção (min)								
	Fotografias simples			Modelo 3D			Ortomosaico		
	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C
Coleta de fotografias	192	222	313	192	222	313	192	222	313
Armazenar	12	15	47	12	15	47	12	15	47
<i>Align Photos</i>	-	-	-	939	1.677	2.600	939	1.677	2.600
<i>Build Dense Cloud</i>	-	-	-	2.560	4.925	9.796	2.560	4.925	9.796
<i>Build mesh</i>	-	-	-	725	3.051	3.477	725	3.051	3.477
<i>Build texture</i>	-	-	-	155	292	485	155	292	485
Build ortomosaico	-	-	-	-	-	-	28	40	94
Exportação ortomosaicos	-	-	-	-	-	-	4	5	11
TOTAL:	204	237	360	4.583	10.182	16.718	4.615	10.227	16.823

Fonte: Autor (2020)

Figura 56: Tempo total para produção de cada ativo visual em minutos

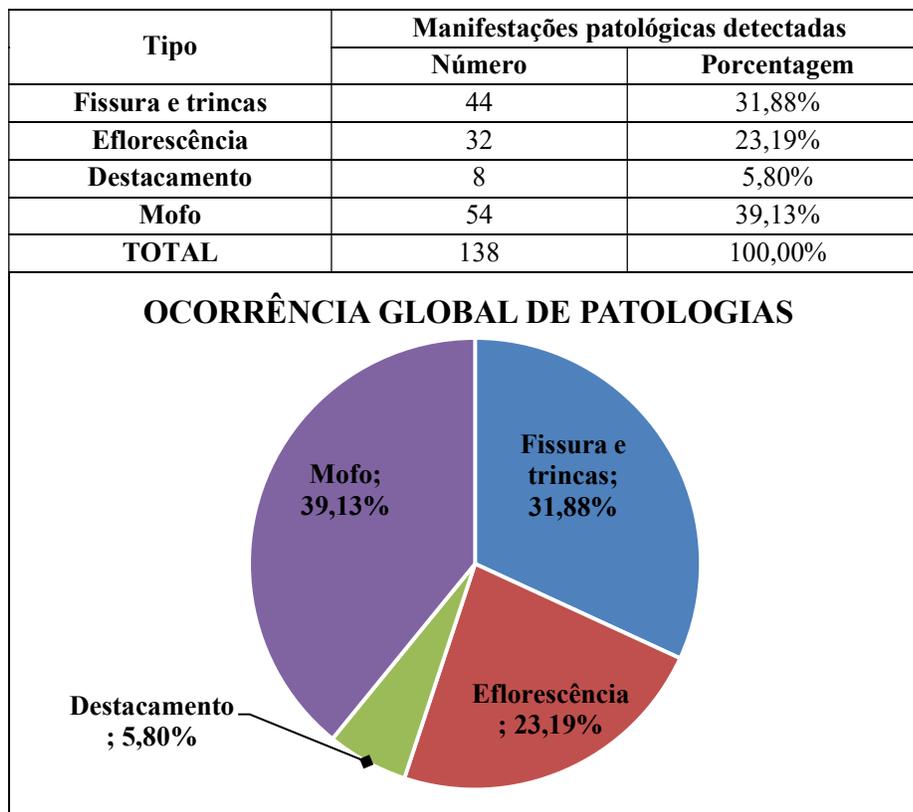
Fonte: Autor (2020)

Nos resultados antes exibidos foi possível observar variações consideráveis tanto no tempo de produção quanto na qualidade dos produtos, tópico abordado na seção seguinte. Enfatizando que o tempo de produção das fotografias simples engloba o procedimento de coleta de imagens, já o tempo de produção do modelo 3D foi adicionado o tempo que corresponde ao processamento para a geração deste recurso visual, e finalmente, ao tempo de produção dos ortomosaicos foi somado o tempo de ortorretificação e exportação das imagens.

6.3.3 Análise da detecção de manifestações patológicas

Após uma análise global das manifestações patológicas, identificou-se que a manifestação patológica visualizada com maior frequência nos estudos de caso foi o mofo, equivalente ao 39,13% das manifestações patológicas detectadas, seguida das fissuras e trincas com o 31,88%, eflorescência com 23,19% e finalmente destacamentos com 5,80% conforme a Figura 57.

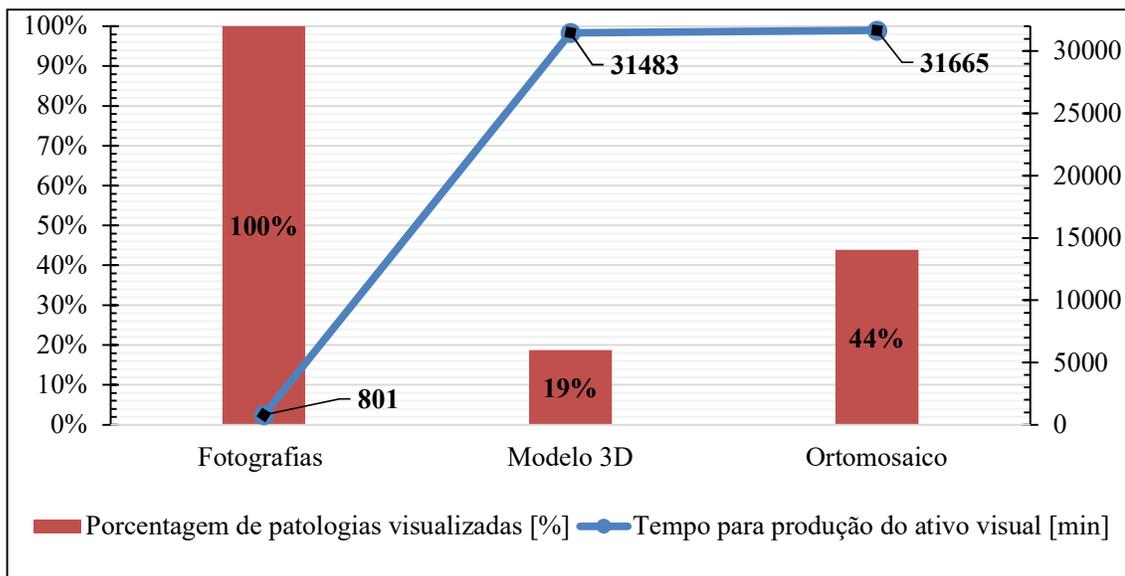
Figura 57: Porcentagens da ocorrência de manifestações patológicas nos estudos de caso



Fonte: Autor (2020)

Por outro lado, ao realizar a análise comparativa entre a efetividade dos ativos visuais gerados na pesquisa experimental, foi incluída a variável do tempo de produção dos mesmos. Esses dados são representados na Figura 58, onde pode-se perceber claramente que o ativo visual com maior eficácia para a detecção de manifestações patológicas corresponde às fotografias digitais originais, em virtude de que esse recurso permitiu a detecção do 100% destas ocorrências nas fachadas.

Figura 58: Comparativa de manifestações patológicas visualizadas – tempo de produção



Fonte: Autor (2020)

Quanto à eficiência dos ativos visuais, mais uma vez as fotografias originais estão no primeiro lugar, dado que o tempo para a geração deste recurso resulta significativamente inferior quando comparado com o ortomosaico e o modelo 3D, os quais têm grande custo computacional para sua geração, característica que incrementa amplamente o tempo de produção dos mesmos, tempo adicional que não é justificado para o intuito da detecção de manifestações patológicas, visto que usando unicamente esses recursos não foi possível detectar a totalidade das manifestações patológicas.

No entanto, as fotografias digitais originais geradas pelo VANT, por si mesmo não permitem o mapeamento das manifestações patológicas, já que individualmente cada imagem apenas representa uma determinada fração da fachada, necessitando de alguma representação geométrica, sejam planos ou ortomosaicos, que permitam a localização espacial da manifestação patológica.

Neste sentido, os ortomosaicos afirmaram indiscutivelmente sua utilidade, embora seja o recurso que exigiu mais tempo para sua produção, a geração deste ativo visual combinado com as fotografias digitais originais permitiu a localização e apresentação espacial dos achados na vista ortogonal das fachadas completas. Situação que permitiu o apropriado mapeamento das manifestações patológicas e consequentemente a criação dos mapas de danos, como apresentado nas Figuras 49, 50 e 51.

Dessa forma, esses mapas de danos podem auxiliar na produção de laudos técnicos, propiciando a apresentação clara da localização e tipologia das manifestações patológicas detectadas, que como resultado favorecerão no processo de manutenção ou restauração da fachada.

Por outro lado, o modelo 3D foi o recurso visual que permitiu a reconstrução espacial da geometria da edificação. Porém, em todos os estudos de caso realizados demonstrou a pior relação custo – benefício para o objetivo particular de detecção de manifestações patológicas. Afirmção justificada pela análise que comparou o custo temporal para produção do ativo visual com a porcentagem de manifestações patológicas detectadas no mesmo. Assim, este foi o recurso que permitiu enxergar a menor quantidade de manifestações patológicas, com uma demanda de tempo muito similar ao ortomosaico, no entanto, exibindo menos da metade das manifestações patológicas detectadas neste último recurso.

Esse cenário foi resultado das distorções geradas pelo software na etapa da texturização do modelo 3D. Nesta etapa, o algoritmo busca adequar geometricamente as ortoimagens para preencher às malhas triangulares que compõem o modelo, situação que compromete consideravelmente a qualidade visual do modelo texturizado e conseqüentemente a exibição das manifestações patológicas, conforme exemplificado na Figura 59.

Figura 59: Modelo texturizado estudo de caso A



Fonte: Autor (2020)

Adicionalmente, nesta etapa também foi observado o potencial de exploração das fotografias digitais e, conseqüentemente, a possibilidade da detecção da manifestação patológica com outras tecnologias, principalmente, no campo da visão computacional, onde a evolução da ciência da computação tem permitido o desenvolvimento de sistemas de Processamento Digital de Imagens (PDI) voltados à extração de atributos, ou seja, reconhecimento e classificação de características ou padrões de uma fotografia digital.

Em suma, a visão computacional é uma área de estudo que lida com métodos usados por computadores para obter um alto nível de compreensão das imagens digitais (ZHOU *et al.*, 2019). Assim, a aplicação de conceitos como a aprendizagem profunda (*Deep Learning*) permite treinar computadores para realizar tarefas como seres humanos, o que inclui a identificação de diferentes padrões nas fotografias de fachada coletadas com VANT.

Contudo, nos últimos anos, o uso de *Deep Learning* para detectar e classificar características específicas em imagens e vídeos, vem crescendo cada vez mais, trazendo resultados mais precisos comparados à percepção humana em alguns casos (LIU *et al.*, 2018), cujo objetivo é realizar a classificação dos objetos extraídos das imagens, viabilizando a criação de um procedimento automatizado para detecção de manifestações patológicas em fachadas.

Para a realização da inspeção, é necessário o completo entendimento de uma imagem, que segundo Zhao *et al.* (2019), deve-se não somente classificar várias imagens diferentes, como também estimar com precisão as localizações dos objetos contidos nos cenários. Para tal fim, resulta necessário realizar o treinamento do computador para o reconhecimento de determinados padrões particulares, característicos das diferentes patologias a serem analisadas.

Em outras palavras, o sistema computacional aplica repetidas convoluções numa base de dados (*dataset*) de imagens de manifestações patológicas, seguindo um modelo de aprendizagem que permite estabelecer quais objetos das imagens devem ser associados a determinados tipos de patologias, ressaltando a importância de um amplo *dataset* para trabalhar com *deep learning*, com imagens de boa qualidade e rotuladas, para conseqüentemente obter melhores resultados.

No entanto, na atualidade não existe uma base de dados (*dataset*) de imagens de manifestações patológicas em fachadas disponíveis publicamente, como trincas e fissuras, descolamentos ou eflorescência em sistemas de revestimento cerâmico (YANG *et al.*, 2018). Situação que constitui uma limitação para a aplicação do PDI para a automação do procedimento de inspeção.

6.4 Diretrizes

Em função do protocolo de atividades a realizar desenvolvido, utilizado e validado em capítulos anteriores (Figura 13 seção 5.3.1), e com base nas informações coletadas e experiências vivenciadas através da revisão do estado da arte, pesquisa exploratória e pesquisa experimental que compõem este trabalho, são estabelecidas diretrizes para a inspeção de manifestações patológicas em fachadas com uso do VANT, conforme apresentado na Figura 60.

Figura 60: Diretrizes para a inspeção de manifestações patológicas em fachada



Fonte: Autor (2020)

6.4.1 Planejamento

A primeira etapa das diretrizes propostas para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas corresponde ao planejamento. Para esse fim, deve-se utilizar o formulário de planejamento (Apêndice 2), permitindo sistematizar a análise do projeto de inspeção e padronizar o planejamento. Constituindo-se como a uma guia que estrutura o fluxo de trabalho para a coleta das informações iniciais e consequentemente desenvolver o plano para executar o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas com o VANT.

Desta forma, o formulário proposto segue a sequência de coleta de informação e planejamento apresentada no Quadro 28, dividindo-se em 3 tópicos: a primeira abrange as informações da edificação, padronizando a coleta de dados da mesma; a segunda envolve o plano de voo, contendo os detalhes que compõem a missão aérea em função do tipo de VANT e características inerentes à edificação e a sua localização; finalmente, a terceira abarca o plano de captura de imagens em função da geometria das fachadas a serem inspecionadas.

Quadro 28: Sequência da coleta de informação e planejamento

Tópico	Informação e planejamento
Informações da edificação	1.- Nome da edificação
	2.- Localização da edificação
	3.- Tipo de edificação
	4.- Tipo de revestimento de fachada
	5.- Idade da edificação
	6.- Área construída
	7.- Altura da edificação
	8.- Número de andares
	9.- Número de fachadas
	10.- Geometria das fachadas (altura, largura e área)
Plano de voo	11.- Modelo de VANT
	12.- Número estimado de baterias para operação
	13.- Data e horário da operação
	14.- Previsão das condições meteorológicas
	15.- Tipo de operação
	16.- Características da localização da edificação
	17.- Identificação de obstáculos adjacentes
	18.- Croqui do térreo identificando local de decolagem e pouso
Plano de captura de imagens	19.- Modelo de câmera digital
	20.- Distância câmera-fachada para captura de imagens
	21.- Ampliação de margens para captura de imagens
	22.- Dimensões cobertas por cada fotografia
	23.- Cobrimento fotográfico para mosaicagem
	24.- Determinação do número de fotografias mínimo por fachada
	25.- Informações adicionais e comentários

Fonte: Autor (2020)

6.4.2 Definição técnica captura de imagens

Continuando com a segunda etapa das diretrizes, deve-se definir a técnica de captura de imagens com o VANT. Para esse objetivo, é preciso considerar a premissa de que as fotografias coletadas serão processadas em softwares de fotogrametria digital para produção de ortomosaicos que, conseqüentemente, permitam a criação de mapas de danos com a localização das manifestações patológicas.

Portanto, resulta necessário definir a técnica de captura de imagens de forma que satisfaça critérios mínimos que possibilitem o mapeamento das fachadas por meio de técnicas de fotogrametria digital. Desta forma, as características sugeridas que compõem a técnica de captura de imagens seguem a seqüência apresentada no Quadro 29, dividindo-se em 3 tópicos: posicionamento da câmera, sobreposição das fotografias e finalmente, a seqüência de captura das imagens.

Quadro 29: Seqüência da definição da técnica de captura de imagens

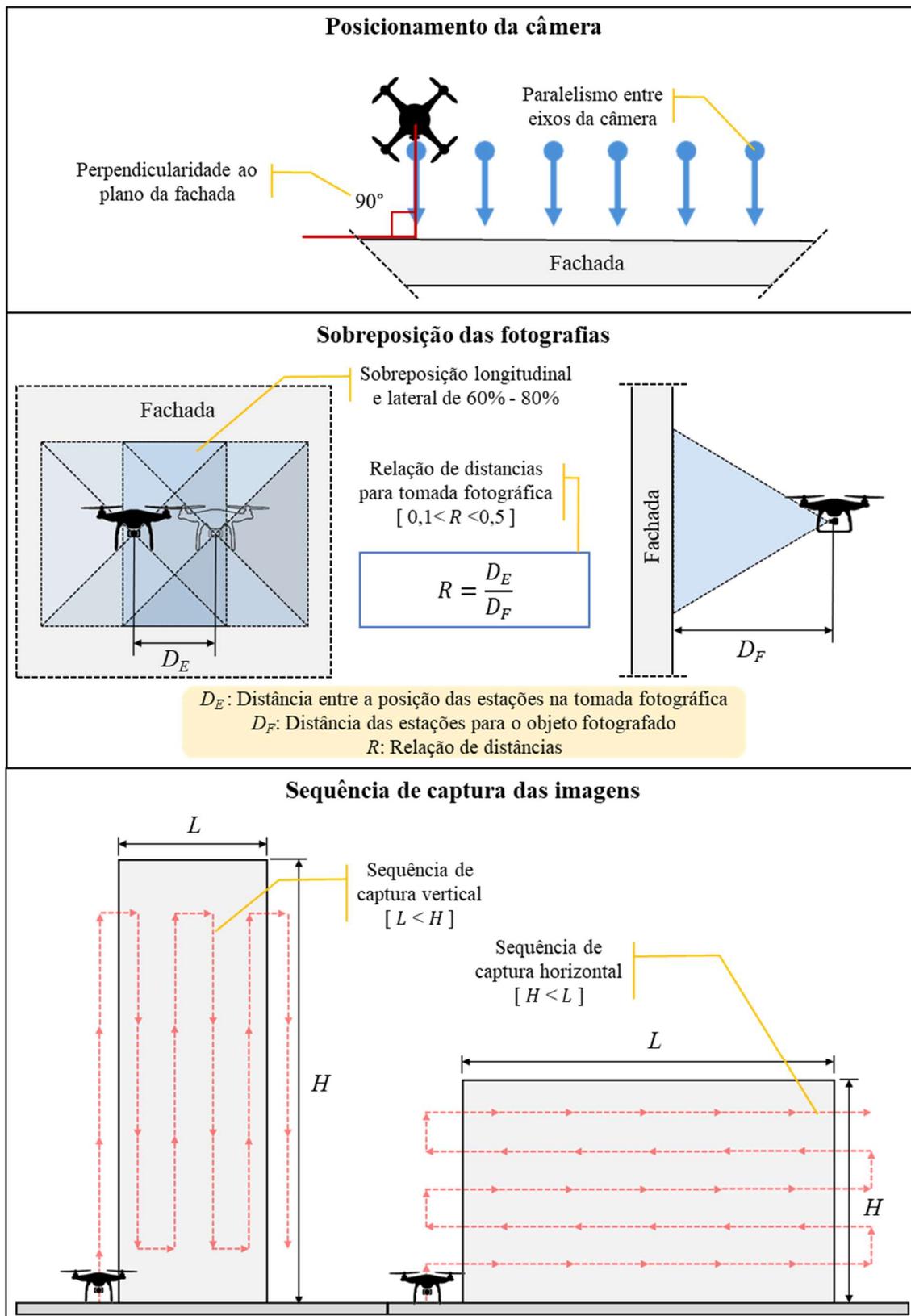
Tópico	Técnica de captura de imagens
Posicionamento da câmera	1.- Perpendicularidade ao plano da fachada
	2.- Paralelismo entre eixos da câmera em cada captura
Sobreposição das fotografias	3.- Assegurar sobreposição longitudinal entre imagens (60% – 80%)
	4.- Assegurar sobreposição lateral entre imagens (60% – 80%)
	5.- Relação de distâncias para tomada fotográfica ($0,1 < R < 0,5$)
Seqüência de captura das imagens	6.- Seqüência de captura horizontal (quando: $H < L$)
	7.- Seqüência de captura vertical (quando: $L < H$)

Fonte: Autor (2020)

Assim, a principal característica do posicionamento das câmeras para as tomadas fotográficas é o paralelismo entre si, procurando sempre a perpendicularidade ao plano da fachada estudada. É recomendável garantir uma sobreposição entre fotografias de 60% - 80%, tanto longitudinal quanto lateral, além de manter uma relação da distância entre a posição das estações na tomada fotográfica e a distância das estações para a fachada fotografada entre 0,1 - 0,5; pois se o mesmo for muito pequeno a correlação automática dos pontos é facilitada, mas a precisão geométrica na reconstrução digital da fachada é prejudicada.

Finalmente, na seqüência de captura das imagens, recomenda-se seguir uma direção de coleta paralela ao lado com maior dimensão da fachada, seqüência vertical (varredura em faixas verticais) quando a altura é a maior e seqüência horizontal (varredura em faixas horizontais) quando a largura é superior. Assim, na Figura 61 são exemplificadas as diretrizes para a definição da técnica de captura de imagens.

Figura 61: Sequência da definição da técnica de captura de imagens



6.4.3 Captura de imagens

A terceira etapa das diretrizes propostas para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas corresponde à execução da captura de imagens. Para esse fim, é indicado que se faça o levantamento fotográfico completo das fachadas sem alteração das condições de luminosidade, realizando a coleta de imagens em um curto espaço de tempo, quando sob condições de iluminação solar, visto que nos registros aéreos com VANT é necessário atentar que em dias muito ensolarados há ocorrência de grandes sombras em determinados horários, devendo procurar realizar os voos quando o sol estiver alto.

Da mesma forma, recomenda-se que a equipe da missão de coleta esteja composta pelo menos por dois membros: o piloto da aeronave, responsável pela coleta de fotografias e operação do VANT; e o observador, que deve-se concentrar na segurança do voo (aproximação à edificações, cabos de alta/média tensão, veículos, aeronaves, pássaros ou outros quaisquer obstáculos que possam pôr em riscos o voo), além de utilizar o *Checklist* para missão com o VANT (Apêndice 3).

O *Checklist* permite sistematizar o procedimento de captura de imagens, e seu uso é recomendado para guiar passo a passo a execução do serviço de inspeção. Desta forma, a sequência de tópicos (Quadro 30) que compõem o *Checklist* são: o cadastro de voo, pré-decolagem, pós-decolagem, pré-pouso, pós-pouso e retomada de voo, e o fim da missão.

Quadro 30: Sequência da definição da técnica de captura de imagens

Tópico	Descrição
1.- Cadastro de voo	Cadastro de dados técnicos do voo como: data, horários de início e término, identificação das fachadas cobertas e o número de imagens capturadas para cada bateria usada.
2.- Pré-decolagem	Lista de verificação dos elementos necessários para iniciar o voo, englobando as regulamentações básicas para operação de VANT e padronizando a etapa de preparação de equipamentos.
3.- Pós-decolagem	Abrange o teste de manobrabilidade do veículo aéreo, verificando o funcionamento dos comandos e o controle total do aparelho, considerando requisitos de segurança.
4.- Pré-pouso	Lista para conferir os requerimentos mínimos do pouso da aeronave, referente à adequada visualização da câmera e às condições do local de pouso.
5.- Pós-pouso e retomada de voo	Lista de verificação que organiza os passos para a retomada de voo, abarcando o desligado do VANT, a troca de bateria, verificação do espaço no cartão de memória, comprovação das conexões.
6.- Checklist Fim da missão	Lista de verificação com o intuito de constituir o passo a passo do processo de finalização da missão com o VANT.

Fonte: Autor (2020)

6.4.4 Registro dados de voo

A quarta etapa das diretrizes integra a sintetização das informações relevantes para o processamento das imagens. Para isso, recomenda-se o uso da planilha *flight log* (Apêndice 4) que visa condensar todos os dados físicos dos voos realizados, registrados no formulário de planejamento e no *Checklist* para missão com VANT.

O preenchimento da planilha *flight log* deve ser realizado paralelamente ao download das fotografias no computador, elas devem ser agrupadas em pastas para cada fachada, identificando as pastas em função da numeração assignada no planejamento. Adicionalmente, cada pasta deve conter a informação do local onde foi realizado o voo, data, horário, número de recursos visuais registrados, distância da fachada a partir da qual as fotos foram obtidas, altitude máxima alcançada pelo veículo aéreo, e finalmente, a duração do voo. Toda esta informação sintetizada é de grande utilidade para posteriormente iniciar a etapa de processamento computacional das imagens.

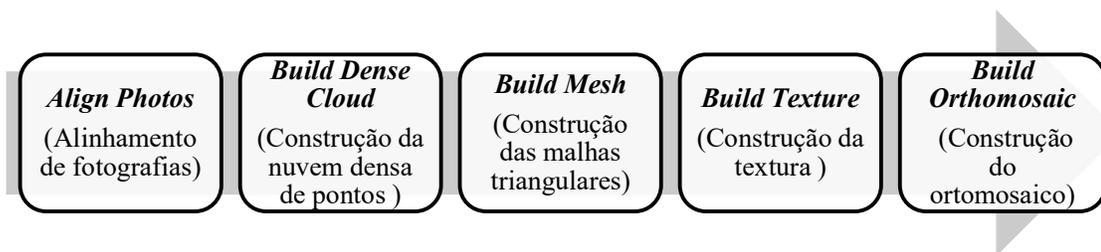
6.4.5 Processamento de imagens

Continuando com a quinta etapa das diretrizes, realiza-se o processamento das imagens com dois objetivos principais: a segmentação binária das imagens (representação em tons preto e branco), para produzir um recurso visual adicional que auxilie na confirmação das manifestações patológicas; e a construção de ortomosaicos digitais que permitam a localização geométrica das manifestações patológicas, viabilizando a criação de mapas de danos das fachadas.

Para a produção dos ortomosaicos pode-se utilizar diferentes softwares de fotogrametria digital. Ressaltando que é importante garantir que o software selecionado possua o recurso de exportação de mosaicos ortorretificados, visto que nem todos os softwares de fotogrametria digital tem essa funcionalidade necessária para permitir o mapeamento da fachada.

Pelas boas experiências obtidas neste trabalho, recomenda-se o uso do software AGISOFT *PhotoScan* que se tem apresentado como uma ferramenta de baixo custo, intuitiva e que proporciona modelos digitais com boa qualidade visual. A seguir, como descrito em capítulos anteriores, a Figura 62 apresenta de forma resumida a sequência de processamento que se deve cumprir para a produção dos ortomosaicos de cada fachada.

Figura 62: Sequência de produção de ortomosaicos

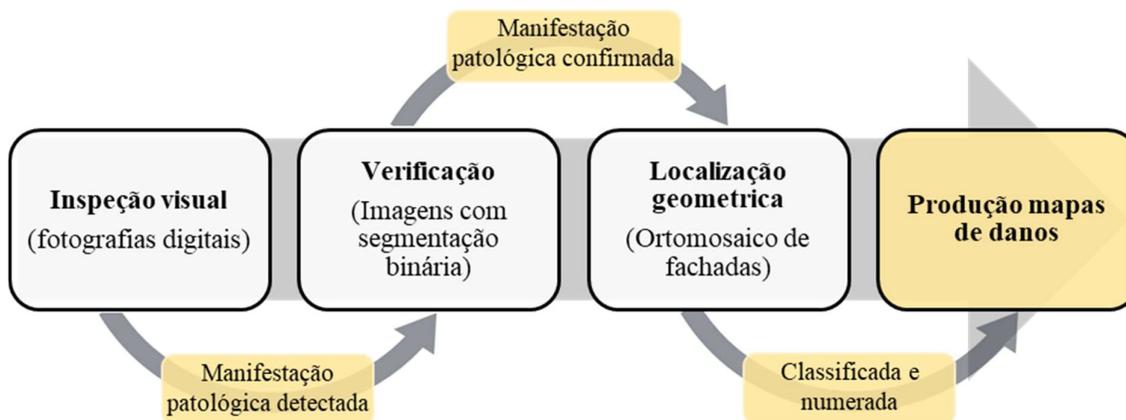


Fonte: Autor (2020)

6.4.6 Detecção de manifestações patológicas

A última etapa das diretrizes corresponde à detecção das manifestações patológicas. Para esse fim, recomenda-se utilizar as fotografias digitais originais, que se constituem como o recurso com qualidade visual superior, proporcionando maior fiabilidade para a inspeção visual. Desta forma, a análise das fotografias deve ser realizada para cada fachada individualmente, seguindo a organização das pastas onde foram armazenadas as imagens. Essa sequência é exemplificada graficamente na Figura 63.

Figura 63: Sequência de detecção de manifestações patológicas



Fonte: Autor (2020)

Assim, a detecção de manifestações patológicas se realiza por meio da inspeção visual individual de todas as fotografias coletadas. Da mesma maneira, deve-se definir uma ordem de varredura para a inspeção visual. Neste trabalho foi realizada de cima para baixo e da esquerda para direita. Quando uma manifestação patológica é visualizada, deve ser identificada, classificada, numerada, verificada na fotografia com segmentação binária, e localizada no ortomosaico da fachada, para finalmente produzir os mapas de danos para cada fachada.

7 CONCLUSÕES

Corroborando com o que fora estabelecido no referencial teórico, os resultados coletados nesta pesquisa demonstram a eficiência do uso de VANT como ferramenta para coleta de imagens aéreas para inspeção, além da versatilidade na locomoção vertical e horizontal, bem como a praticidade para alcançar as regiões mais elevadas das edificações. É permitido realizar um mapeamento fotográfico completo das fachadas e atender características requeridas por softwares que utilizam técnicas de *Dense Stereo Matching* para a reconstrução 3D e geração de ortomosaicos, particularmente no que diz respeito à necessidade do registro fotográfico próximo da perpendicular ao plano da cena, ou melhor, das fachadas. Dessa forma, esta aeronave representa uma alternativa conveniente para as inspeções de fachadas, proporcionando imagens com qualidade satisfatória e agilidade aos processos.

De modo geral, os resultados da pesquisa exploratória revelam o grande potencial desta tecnologia para atividades de inspeção, exemplificado por diversos autores na bibliografia atual, havendo evidências suficientes que enfatizam as diferentes vantagens do uso desta aeronave como ferramenta ágil e versátil no levantamento de imagens ou dados para finalidades diferentes, particularmente em áreas de difícil acesso e complexidade inerente à altura. Pode-se proporcionar um serviço de inspeção com maior segurança e velocidade, exigindo menos recursos quando comparado com o método tradicional de inspeção com alpinismo industrial.

A pesquisa exploratória também exhibe que o panorama atual local do uso de VANT na indústria da construção civil apresenta o uso de técnicas empíricas para propósitos de inspeção, comprometendo os recursos visuais produzidos e propiciando a ocorrência de omissões ou imprecisões no processamento e análise técnica dos mesmos, demonstrando de forma implícita a necessidade da incorporação de um protocolo que estruture as atividades a realizar no serviço de inspeção, associado a técnicas padronizadas para a captura de imagens que permitam potencializar a qualidade e características dos recursos visuais, e conseqüentemente propiciar uma análise técnica mais criteriosa.

Por outro lado, diante dos resultados obtidos na pesquisa experimental, a viabilidade técnica do procedimento de inspeção de manifestações patológicas com VANT foi confirmada. Utilizando esta aeronave, particularmente como ferramenta para o levantamento fotográfico e mapeamento das fachadas, foram identificadas 138 manifestações patológicas a partir dos recursos produzidos por meio das 1.384 fotografias coletadas nos 3 estudos de caso realizados.

Além da factibilidade técnica, este tipo de inspeção com VANT apresenta viabilidade legal, demarcada principalmente no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC-nº 94) e a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA 100-40). Assim, o conveniente enquadramento deste tipo de veículo aéreo na legislação brasileira e suas restrições menores tornam possível, do ponto de vista legal, realizar levantamentos fotográficos de edificações com esta ferramenta. Notoriamente, envolvendo algumas formalidades menores inerentes à regulamentação atual vigente.

Quanto às características que influenciam ao uso do VANT, o presente trabalho constatou por meio da percepção dos envolvidos, que o veículo aéreo empregado nos estudos de caso tem uma interface de fácil uso para operação, excelente integração de *software e hardware*, *software* de fácil atualização, sistema confiável com sensores de respostas emergencial eficiente, além de autonomia da bateria que satisfaz as necessidades para a coleta de imagens. Não obstante, o VANT apresentou-se sensível a mudanças meteorológicas, tais como ventos fortes e chuva. Ressaltando também, que fatores determinantes na coleta de imagens estão associados à experiência do piloto, bem como ao treinamento do uso da tecnologia para fins de inspeção.

No que se refere à influência da altura da edificação no processo de inspeção com VANT, na percepção do autor desta pesquisa, não resulta prejudicial em termos de manobrabilidade da aeronave. Ao contrário do que se pode pensar, o terço inferior das edificações apresentou maiores dificuldades para a operação, principalmente pela variabilidade do vento em função da formação de corredores de vento entre as edificações adjacentes. Já o terço superior exibiu maior uniformidade na velocidade e direção do mesmo, portanto menor efeito sobre a aeronave, tornando a operação mais simples quando comparada com as outras seções.

Durante a execução dos estudos de caso, o emprego do conjunto de diretrizes propostas para as atividades de inspeção foram fundamentais para estruturar o procedimento e consequentemente padronizar a coleta de recursos visuais. Assim, os formulários e *checklist* que compõem o protocolo de atividades a realizar, demonstraram ser elementos eficazes para delinear e assistir integralmente todas as etapas do levantamento de imagens e dados com a aeronave, abrangendo o planejamento da missão, a coleta de imagens, e finalmente a organização das mesmas para o processamento e análise, resultando ser elementos indispensáveis dentro das diretrizes propostas para atender aos requisitos técnicos de qualidade e precisão exigidos para a produção de recursos visuais mais complexos, como por exemplo, modelos 3D e ortomosaicos.

Assim, nos estudos de caso desta pesquisa foram produzidos diferentes recursos visuais (fotografias digitais aéreas, modelos 3D e ortomosaicos). Entre os quais, as fotografias digitais geradas com VANT demonstraram ser o recurso mais eficaz e eficiente para a detecção de manifestações patológicas. Com o menor tempo de produção e com a totalidade das manifestações patológicas detectadas, este recurso apresenta a melhor relação custo benefício, apontando ser a melhor escolha para o procedimento de inspeção de manifestações patológicas em fachadas.

Adicionalmente, as fotografias digitais como o recurso de maior qualidade visual, permitem vislumbrar o potencial do uso do campo da visão computacional, essencialmente por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) voltado à extração de atributos, ou seja, reconhecimento e classificação de características ou padrões particulares das manifestações patológicas em fotografias digitais para a detecção automatizada das mesmas. No entanto, a principal limitação para esse objetivo nas condições atuais é a inexistência de uma base de dados (*dataset*) de imagens de manifestações patológicas em fachadas disponíveis publicamente, restringindo o processo de aprendizagem do computador e consequentemente comprometendo a capacidade de reconhecimento.

Quanto aos ortomosaicos criados por técnicas de Correspondência Estéreo Densa (DSM), embora não sejam o recurso visual que propicie maior eficiência para o objetivo de inspeção, isto em termos de tempo de produção e revelação de manifestações patológicas, são o recurso que complementa as fotografias digitais para viabilizar a elaboração de mapas de danos. Tendo em vista que a combinação de ambos recursos visuais permite a localização bidimensional das manifestações patológicas desde um ponto de vista ortogonal, dentro da conveniente representação geométrica das fachadas nos ortomosaicos.

O recurso visual que demonstrou menor rendimento foi o modelo 3D, com um custo computacional elevado e deficiente exibição das manifestações patológicas, é considerado um recurso inadequado para o intuito de inspeção. No entanto, o atributo particular deste produto é a fidedigna reconstrução espacial da geometria da edificação, enxergando as utilidades desta característica para diferentes propósitos na indústria da construção civil, como por exemplo, armazenar em nuvens de pontos informações relativas à geometria tridimensional de diferentes tipos de edificações, como edifícios históricos ou de patrimônio cultural, possibilitando sua futura reprodução, manutenção, e até reconstrução total se for necessário.

Por fim, o trabalho alcançou os propósitos estabelecidos pelos objetivos, que era, em suma, o estudo exploratório do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como ferramenta visual para inspeção de manifestações patológicas em vedações verticais. Entretanto, a pesquisa apresentou algumas delimitações e estas podem ser direcionadas às realizações em pesquisas futuras.

Recomendações para trabalhos futuros:

- aplicar a metodologia para um grupo maior de edificações com o objetivo de refinar os procedimentos de inspeção de manifestações patológicas em fachadas;
- desenvolver uma metodologia de inspeção de edificações a partir de câmeras termográficas embarcadas em VANT;
- desenvolver técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para analisar automaticamente as fotografias coletadas pelo VANT, propiciando a detecção, classificação e tipificação das manifestações patológicas para a geração de mapas de danos;
- construir uma base de dados (*dataset*) com imagens de manifestações patológicas em fachadas com sistemas de revestimento cerâmico como mofo, descolamentos, eflorescência, trincas e fissuras;
- desenvolver uma metodologia para acompanhamento da evolução de manifestações patológicas por meio da comparação de mapas de danos gerados em período distintos.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT PhotoScan. **User Manual**: Professional edition, Version 1.4. 2018. 127 p.
- AGUILAR, G. **Inspeção Predial de Fachadas com Drones à luz da ABNT NBR 5674:2012 – Manutenção de Edificações**. 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/inspe%C3%A7%C3%A3o-predial-de-fachadas-com-drones-%C3%A0-luz-da-abnt-gabriel-aguilar/?published=t>. Acesso em: 19 mai. 2018.
- ALMEIDA, M. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada em três estudos de caso na cidade de balneário Camboriú**. Florianópolis, 2004. 174p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- ÁLVARES J. S. **Mapeamento 3d de canteiros via imagens coletadas com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. Salvador, 2016. 156p. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Bahia.
- ÁLVARES, J. S.; COSTA, D. B.; MELO, R. R. S.; BELLO, A. Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados. In: XVI ENTAC, 1., 2016. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2016.
- AMORIM, A. L.; SILVA, L. S.; CHRISTAKOU, E. D. Uso de VANT em documentação arquitetônica. In: Seminário Nacional de Documentação do Patrimônio Arquitetônico como uso de Tecnologias Digitais. LACORE/UFPA, 1., 2012. Belém. **Anais...** Belém, 2012.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - **Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)**. Resolução n. 419, 2 de maio de 2017. Brasília, 2017.
- ANGELOV, A. **Sense and avoid in UAS: research and applications**. First edition. United Kingdom: Wiley, 2012.
- ANFACER. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. **Manual Para Orientação Técnica**. São Paulo, 1994.
- BARROS, M. S. B.; SABBATINI, F. H.; LORDSLEEM JR., A. **Recomendações para execução de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo, EPUSP-PCC, 1998. (Projeto EPUSP/SENAI.)
- BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO Y JORNADA TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN E CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, VIII 2009, La Plata, Buenos Aires, Argentina. **Anais...** La Plata, 2009. 20 p.
- BALDWIN, D. **What is an orthomosaic photo**. 2015 Disponível em: <<https://medium.com/new-farmer/what-is-an-orthomosaic-photo-11140c0601df>> Acesso em: 30 jul. 2019.

BRASIL. Ministério de Defesa. **Voos de RPAS (drones). Entenda a nova legislação do DECEA.** 2015a. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=voos-de-rpas-drones-entenda-a-nova-legislacao-do-decea>. Acesso em: 25 Oct. 2018.

_____. Força Aérea Brasileira. **Força Aérea esclarece normas para voos de drones no Brasil.** 2015b. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/seguranca-e-justica/2015/03/forca-aerea-esclarece-normas-para-voos-de-drones-no-brasil#wrapper>>. Acesso em: 25 Oct. 2018.

BORING, N. **Regulation of Drones:** France. 2016. Disponível em: <<https://www.loc.gov/law/help/regulation-of-drones/france.php>> Acesso em: 03 abr. 2019.

BRITO, B.; GROETELAARS, N. J., AMORIM, A. O uso da tecnologia dense stereo matching para levantamento de edificações existentes. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, II .2012, Belém. **Anais...** Belém: ARQDOC, 2012.

BURKE, A. **Rigorous rules proposed for recreational drone flyers, documents show:** CBC News. 2018. Disponível em: <<https://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/transport-canada-drone-regulations-1.3810123>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

CAA. Civil Aviation Authority. **The drone code.** 2019. Disponível em: <https://dronesafe.uk/wp-content/uploads/2018/06/Dronecode_2018-07-30.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2019.

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In.: Congresso Iberoamericano de Patologia de lãs Construcciones, V, CONPAT, 1., 1999. Montevideo. **Anais...** Montevideo, 1999.

CAMPOS, M. **Queixas contra imóveis novos crescem no Procon.** 2011. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2011/05/noticias/a_gazeta/economia/862139-queixas-contrainmoveis-novos-crescem-no-procon.html>. Acesso em: 12 set. 2018.

CAPES. fundação capes do ministério de educação. (2018). **Portal de periódicos Divulgação científica.** 2018. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

CEOTTO, L. H.; BONDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. Recomendações Técnicas Habitaré, v. 1.

COELHO, L.; BRITO, J. **Fotogrametria digital.** Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <<http://e-foto.sourceforge.net/cap1.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

CONSTRUBUSINESS. **Investir com responsabilidade.** 2016. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/?temas=observatorio-da-construcao>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CORREA, A.; MIRANDA, P. Patologias de Fachadas. **Revista Pensar Engenharia.** 1 Jul 2013, Vol. 1 (2). Belo Horizonte, 2013.

COSTA E SILVA, A. J. **Descolamento nos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. São Paulo, 2001. 221p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

COSTA, L. G. G. Cronidas: uma proposta de base de dados para confecção de mapas de danos em edificações de interesse histórico-cultural. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL (SIGRADI), XV. 2011, Santa Fé. **Anais... SIGRADI 2011 Cultura aumentada - Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**, XV. Santa Fé-AR, 2011. v. 1.

CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. **CTBUH Height Criteria**. 2019. Disponível em: <<https://www.ctbuh.org/criteria/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 100-40: Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Portaria DECEA n. 415, 9 de novembro de 2015. Brasília, 2015.

DEL BARRIO R. **Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio: iglesia de la merced**. Burgos, 2017. 275p. Tese (Doutorado). Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior.

DGAC. Dirección General de Aeronáutica Civil – Chile. **DAN 91: Reglas del aire**. EXENTA n. 373, 02 de setembro de 2015. Santiago, 2015.

_____. Dirección General de Aeronáutica Civil – Chile. **DAN 151: Operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas**. EXENTA n. 166, 10 de fevereiro de 2017. Santiago, 2017.

DJI. *Dà-Jiāng Innovations Science and Technology*. **Phantom 4 PRO V2.0 Especificações**. 2018. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2/info>> Acesso em: 09 mai. 2019.

EMELIANOV, S.; BULGAKOW, A., SAYFEDDINE, D. Aerial laser inspection of buildings facades using quadrotor. In: Creative Construction Conference, 1., 2014. Prague. **Proceedings...** Prague, 2014.

ENTROP, A. G.; VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. In: 11th Nordic Symposium on Building Physics, 132., 2017, Trondheim. **Proceedings...** Trondheim, 2017.

EXAME. **Utilização de drones em construções civis revoluciona setor e startup inaugura novo nicho de mercado**, Revista Online Grupo Abril. (2018). Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/utilizacao-de-drones-em-construcoes-civis-revoluciona-setor-e-startup-inaugura-novo-nicho-de-mercado/>. Acesso em: 01 de set. 2018.

FAA. Federal Aviation Administration. **Aircraft Registration: Unmanned Aircraft (UA)**. 2015. Disponível em < https://www.faa.gov/licenses_certificates/aircraft_certification/aircraft_registry/UA/>. Acesso em: 03 de abr. 2019.

FERREIRA, L. B. **Patologia em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios estudo regionalizado para a cidade de Divinópolis**. Belo Horizonte, 2007. 94p. Monografia (Especialização). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

FIGUEIREDO, G. J. **Patologias em revestimentos de fachadas: diagnóstico, prevenção e causas.** Belo Horizonte, 2017. 92p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

GALLETTO, A.; ANDRELLO, J. M. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos. In: IX Congresso internacional sobre Patologías y Recuperación de Estructuras CINPAR, 1., 2013. Paraíba. **Anais...** João Pessoa, 2013.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE. **Google Maps Brazil.** 2019. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. In: SIGRADI 2012 - CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 2012, Fortaleza. SIGraDi 2012 [**Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics**], 2012. p. 361-365.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica.** 2015. 372p. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura.

GRUBB, B. **The Sydney Morning Herald: Drone operators involved in athlete's injury referred to Director of Public Prosecutions.** 2014. Disponível em: < <https://www.smh.com.au/technology/drone-operators-involved-in-athletes-injury-referred-to-director-of-public-prosecutions-20140708-zszsy.html>> Acesso em: 23 abr. 2019.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HORSTH, A. A.; BARRELETE, F. N.; MACIEL JR., J. A.; MIRANDA, L. R. Pathology in facade ceramic coating. **Revista educação, meio ambiente e saúde.** Jan. 2018, Vol. 8 n. 1. Curitiba, 2018.

HUNG, M. N. W. B.; SAMPAIO, T. V. M.; SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; LANGE, D. R.; MARANGON, F. H. S.; SANTOS, I. Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, p. 215-231. Curitiba, 2018.

IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **II Seminário Nacional de Perícias de Engenharia: Perícias em fachadas.** 2014. Disponível em: < <http://www.ibape-nacional.com.br/email-marketing/boletim72/periciasemfachadas-marcelosuarez.pdf>> Acesso em: 08 jun. 2019.

_____ - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Inspeção Predial: Guia da boa manutenção.** São Paulo, Editorial Leud; 2005.

IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. **Journal of Management in Engineering.** 1 May 2016, Vol.32(3). Atlanta, 2016.

IRIZARRY, J.; COSTA, D. B.; KIM, S. Evaluation of Unmanned Aerial Systems in Construction Safety Applications: A Case Study at Unilever Manufacturing Facility in Independence, MO. **Final Report**. Atlanta: Georgia Institute of Technology, School of Building Construction. 2015.

IWUOHA, L. E. **Michalsons**: Drone law or regulations in South Africa. 2018. Disponível em: <<https://www.michalsons.com/blog/drone-law-in-south-africa/16543>> Acesso em: 03 abr. 2019.

JUST, A.; FRANCO, L. S. Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo, 25 p. 2001.

KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D. B.; MENDES, A. T. C. Lessons learned from unmanned aerial system-based 3D mapping experiments. In: 52nd ASC Annual International Conference, 1., 2016. Provo. **Proceedings...** Provo, 2016.

KOUTSOUDIS, A.; VIDMAR, B.; IOANNAKIS, G.; ARNAOUTOGLU, F.; PAVLIDIS, G, CHAMZAS, C. Multi-image 3D reconstruction data evaluation. **Journal of Cultural Heritage** [online] <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.003>. Acesso em: 29 abr. 2019.

LEE, D. **South China Morning Post**: Tougher drone rules on the cards in Hong Kong as industry body warns of 'reckless' flying and threat to passenger aircraft. 2017. Disponível em: <<https://www.scmp.com/news/hong-kong/transport/article/3003225/aviation-authority-investigates-why-cathay-pacific-allowed>> Acesso em: 03 abr. 2019.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D.G.; TETZLAFF, J. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. **BMJ** 2009; 339: b2700.

LICHTENSTEIN, N. B. **Procedimento para formulação dos diagnósticos de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. São Paulo, 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LIU, Yun; KOHLBERGER, Timo; NOROUZI, Mohammad; DAHL, George E.; SMITH, Jenny L.; MOHTASHAMIAN, Arash; OLSON, Niels; PENG, Lily H.; HIPPEL, Jason D.; STUMPE, Martin C. Artificial Intelligence-Based Breast Cancer Nodal Metastasis Detection. **Archives of Pathology & Laboratory Medicine**, 2018.

LORDSLEEM JR., A. C. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. São Paulo, 1997. 195p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LORDSLEEM JR. A. C.; H. BATISTA H. F. Descolamento de revestimento de fachada: Estudo de caso. **Revista ALCONPAT**. Mai 2017. Vol. 7 n. 2, pp. 148-159. Mérida, 2017.

MARCO, J. P. **El País**: Aumentan "pilotos" uruguayos de drones, la mayoría "irregulares". 2017. Disponível em: <<https://www.elpais.com.uy/informacion/aumentan-pilotos-uruguayos-drones-mayoria-irregulares.html>> Acesso em: 28 mar. 2018.

MADER, D.; BLASKOW, R.; WESTFELD, P.; WELLER, C. Potential of UAV-Based laser scanner and multispectral camera data in building inspection. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**. Vol.2016-, pp.1135-1142. Praga, 2016.

MEDEIROS, J. A.; PATRIOTA, R. C.; TORRES, S. M. Proposta de uso de drones na realização de perícias em patrimônio histórico: abordagem experimental nas ruínas da primeira fábrica de cimento Portland da América Latina. **Revista Brasileira de Ciências Policiais**. Jul 2017. Vol.8, n. 2, p. 203-218. Brasília, 2017.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. São Paulo: USP, 1999. Boletim técnico n. 246. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BT246.pdf>> Acesso em: 31 mar. 2018.

MELO, R. R. S.; COSTA, D. B. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra. In: SIBRAGEC-ELAGEC, 1., 2015. São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2015.

MELO, R. R. S. **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. Salvador, 2016. 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Bahia.

MELO JR, C. M., **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. Brasília, 2016. 408p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

MLIT. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. **Japan's safety rules on Unmanned Aircraft (UA)/Drone**. Disponível em: <<http://www.mlit.go.jp/en/koku/uas.html>> Acesso em: 31 mar. 2018.

MORGENTHAL, G; HALLERMANN, N. Unmanned Aerial Systems (UAS) – Case Studies of Vision Based Monitoring of Ageing Structures. In: International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), Sep. 15-17, 2015. Berlin. **Anais...** Berlin, 2015.

MORGENTHAL, G; HALLERMANN, N. Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures. **Journal of Advances in Structural Engineering**. Mar 2014, Vol.17(3), pp.289-302. Weimar, 2014.

NETO, A. B. M.; ALMEIDA, I. S. **A análise do emprego do veículo aéreo não tripulado (VANT) nas ações e operações PM**. Bahia, 2009. 87p. Monografia (Especialização em Gestão de Segurança Pública). Universidade do Estado da Bahia. Academia da Polícia Militar da Bahia. Salvador, 2009.

NEITZEL, F.; KLONOWSKI, J. Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. **Proceedings...** Zurich: ISPRS, 2011. p. 39-44.

OACI. Organização de Aviação Civil Internacional. Sistemas de aeronaves não tripulado (UAS) – **Circular 328-AN/190**. 25 de agosto de 2011. Quebec, 2011.

PATRIOTA, R. C. **Mapeamento de fachadas usando aeronave remotamente pilotada.** Curitiba, 2017. Monografia (Especialização) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

PIERROT-DESEILLIGNY, M.; DE LUCA, L.; REMONDINO, F. Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation. **Geoinformatics CTU FCE.** 2011. Disponível em: <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/PRAGUE/113.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

PINHO, S. A. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento: perdas, consumo e produtividade.** Recife, 2013. 269p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco.

PIÓRKOWSKI, D. T. Rectification and Intermediate View synthesis. Monografia (Graduação) – **Universitat Politècnica de Catalunya** universidade. 47p., Barcelona, 2008.

PORTUGAL. Decreto-Lei nº 414/98 de 31-12-1999, **Regulamento de segurança contra incêndio em edifícios:** Artigo 5.º - Classificação dos edifícios de acordo com a altura, Lisboa, Cap 1, Sec 1, maio/jun. 1999.

POSSAN, E; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral, **Revista técnico científica do CREA-PR-** ISSN 2358-5420, 2013 Out, 1ª edição. Paraná, 2013.

PROCON - Fundação de Proteção e Defesa do Consumidor. **Cadastro de reclamações fundamentadas 2011:** kit de imprensa. São Paulo: 2012.

REAGAN, D; SABATO, A; NIEZRECKI, C. Feasibility of using digital image correlation for unmanned aerial vehicle structural health monitoring of bridges Structural Health Monitoring, October 2017, **SAGE Publishing**, Vol.17(3), pp.289-302. Massachusetts, 2017.

RECIFE, Prefeitura da cidade. **Serviços para o cidadão:** Madalena, 2019. Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/servico/madalena?op=NTI4Mg==>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

REED, J. **BBC News:** The skies open up for large civilian drones, 2012. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/technology-19397816>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

RESENDE, M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios.** São Paulo, 2004. 224p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUZA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise. 1. ed. Rio de Janeiro, **Elsevier Brasil**, 2013. 244 p.

SCHREIBER, L; OSTIARI, E. **Game of drones do civilian applications harbour opportunities for sustainable development,** 2014. Disponível em: <http://www.mirova.com/Content/Documents/Mirova/publications/va/studies/MIROVA_Study_Game_of_drones_EN.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

SAHADE, R. F. **Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação.** 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em Habitação) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** Florianópolis, 2007. 190p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A. J. Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, Pix4D e PhotoScan. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014. p. 747-754.

STEINBERG, J. **Drones in America Must Now Be Registered. Here's What You Need to Know**steinberg, 2016. Disponível em: < <https://www.inc.com/joseph-steinberg/drones-in-america-must-now-be-registered-here-is-what-you-need-to-know.html>> Acesso em: 04 abr. 2019.

TAVANI, S.; GRANADO, P.; CORRADETTI, A.; GIRUNDO, M.; IANNACE, A.; Arbués, P.; MUÑOZ, J.A.; MAZZOLI, S. Building a virtual outcrop, extracting geological information from it, and sharing the results in Google Earth via OpenPlot and Photoscan: An example from the Khaviz Anticline (Iran). **Computers & Geosciences**. V. 63; 2014; 44–53.

TINOCO, Jorge Eduardo Lucena. **Mapa de danos – Recomendações básicas.** Centro de estudos avançados da conservação integrada – CECI. Vol. 43. Olinda, Pernambuco, 2009.

TIRELLO, R. A.; CORREA, R. Sistema normativo para mapas de danos de edifícios históricos aplicados à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. In: Colóquio latinoamericano sobre recuperação e preservação do patrimônio industrial. VI 2012. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Centro Universitário belas Artes de São Paulo, 2012. V. 1. P. 44-26.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios.** São Paulo, IPT/EPUSP/PINI, 1989.

UAV. **UNMANNED Air vehicle classification table.** EUA, 2012. Disponível em: <<http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/aircraft-uav-class.htm>>. Acesso em: 28 set. 2018.

UPE. Universidade de Pernambuco. **Reitor da UPE visita as instalações do IIT.** 2018. Disponível em: <<http://www.upe.br/noticias/2499-reitor-da-upe-visita-as-instalacoes-do-iit>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

VAN AKEN, J.; BERENDS, H.; BIJ, H. V.D. **Problems Solving in Organizations: a Methodological Handbook for Business and Management Students.** 2 ed. New York: Cambridge University Press, 2012.

VDR. Vida De Reis Alpinismo industrial. **Apostila de treinamento e técnicas de acesso por cordas.** 2019. Disponível em: <<http://viadereis.com.br/assets/cartilha-via-de-reis-alpinismo.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

VERA, R. Medición de contaminación mediante UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado). **Mundo FESC.** 2016, Vol.1(11), pp.16-26. Cucuta, 2016.

VERÇOSA, E.J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre, Ed. Sagra, 1991.

VERHOEVEN, G. Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. **Archaeological Prospection**. V 18, nº 1; 2011, 67-73.

VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. Rio de Janeiro, 2015. 173p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

WOLF, P. R. e DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS**, 3ed.USA: McGraw-Hill Book Company, 2000, 607p.

YANG, XC; QIN, XB; WANG, J; WANG, JH; YE, X; QIN, Q. M. Building Facade Recognition Using Oblique Aerial Images, **Journal of Remote Sensing**, 2015 Aug, Vol.7(8), pp.10562-10588. Pequim, 2015.

YANG, Liang; LI, Bing; LI, Wei; JIANG, Biao; XIAO, Jizhong. Semantic Metric 3D Reconstruction for Concrete Inspection. **IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2018**.

ZHAO, Zhong-Qiu; ZHENG, Peng; XU, Shou-tao; WU, Xindong. Object Detection with Deep Learning: A Review. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, p.1–21, 2019.

ZHOU, C.; LUO, H.; FANG, W.; WEI, R.; DING, L. Cyber-physical-system-based safety monitoring for blind hoisting with the internet of things: A case study. **Automation in Construction**, v.97, p.138-150, 2019.

APÊNDICES

Apêndice 1: Questionário para pesquisa exploratória

<p>ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO</p>	<p>Escola Politécnica de Pernambuco Departamento de Engenharia Civil</p>	<p>POLITECH TECNOLOGIA E GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS</p>
--	--	---

Estudo exploratório de inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT)

DATA: _____

1. DADOS DA EMPRESA	
Nome:	
Endereço:	
Fone/Fax:	
E-mail:	
Área de atuação:	
Tempo de atuação:	
Nº de Obras:	
Certificação: () NBR ISO 9001:2000 () SiAC	

2- DADOS DO RESPONSÁVEL	
Nome:	
Cargo:	Fone:
E-mail:	
Formação:	
Possui capacitação na utilização de drone? () SIM () NÃO	
Se SIM, quanto tempo?	
Possui licença para uso de drone? () SIM () NÃO	
Se SIM, quanto tempo?	

Observações:

3. DRONE

3.1. Qual o modelo do drone utilizado?

3.2. Qual a classificação quanto a utilização?

Militar Comercial

3.3. Qual a classificação por tipo de asas?

Fixas Rotatórias

3.4. Qual a classificação de acordo com o peso (Segundo ANAC)?

Classe 1 (Acima de 150 kg) Classe 2 (Entre 25 e 150 kg)

Classe 3 (Abaixo de 25 kg)

3.5. Qual a classificação quanto ao alcance/bateria?

Endurance (Alcance 150-300 Km e Bateria 12-36 horas)

Mid Range (Alcance 50-150 Km e Bateria 8-12 horas)

Close Range (Alcance 5-50 Km e Bateria 1-2 horas)

Low Cost Close Range (Alcance 0-5 Km e Bateria 20-60 minutos)

3.6. Qual a classificação de acordo com o tipo de câmera?

Multiespectral Termográfica Câmera aérea

3.7. Trabalha com Modelagem 3D?

NÃO SIM

3.8. Se SIM, qual o Software utilizado?

3.9. Trabalha com algo relacionado a Engenharia Civil?

NÃO SIM

3.10. Se SIM, qual tipo de trabalho?

3.11. Possui interesse em expandir as opções de trabalho fazendo parceria com a Escola Politécnica de Pernambuco?

NÃO SIM

3.12. Podemos agendar uma visita ao campo de trabalho?

NÃO SIM

4. PLANEJAMENTO DE VOO

4.1. Utiliza algum software para planejamento de voo?

NÃO SIM OBS: _____

4.2. Analisa locais alternativos para pouso e decolagem?

NÃO SIM

4.3. Verifica as condições meteorológicas antes do voo?

NÃO SIM

4.4. Leva baterias extras para a execução do voo?

NÃO SIM

4.5. Transfere os arquivos a cada pouso?

NÃO SIM

4.6. Analisa a topografia do local?

NÃO SIM

4.7. Faz checklist de equipamentos?

NÃO SIM

4.8. Dados colocados no software:

- Região a ser mapeada	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Perímetro do local	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Local de lançamento e pouso	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Direção do vento	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Altitude	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Velocidade de voo	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM
- Índice de sobreposição de imagens	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> SIM

Apêndice 2: Formulário para planejamento

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO				1-3
A. Informações da edificação				
A.1 Nome da Edificação:				
A.2 Localização da Edificação:				
A.3 Tipo de Edificação:				
<input type="checkbox"/> Comercial				<input type="checkbox"/> Residencial
<input type="checkbox"/> Industrial				<input type="checkbox"/> Acadêmico
<input type="checkbox"/> Governamental				<input type="checkbox"/> Outros: _____
<input type="checkbox"/> Estabelecimento de Saúde				
A.4 Tipo de revestimento de fachada:				
<input type="checkbox"/> Argamassa				<input type="checkbox"/> Pétreo
<input type="checkbox"/> Cerâmico				<input type="checkbox"/> Outro: _____
A.5 Idade da Edificação anos:				
A.6 Área Construída m ² :				
A.7 Altura da Edificação m:				
A.8 Número de Andares:				
A.9 Número de Fachadas:				
A.10 Geometria das fachadas m:				
<input type="checkbox"/> Fachada 1:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 2:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 3:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 4:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 5:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 6:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 7:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 8:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO		2-3
B. Plano de voo		
B.1 Modelo de VANT:		
B.2 Número estimado de baterias para operação:		
❖ Autonomia bateria (T_A min): _____	❖ Tempo operação (T_O min): _____	
❖ Número de baterias estimado (T_O/T_A): _____		
B.3 Data e horário da Operação: ____ / ____ / ____ : ____ horas		
B.4 Previsão das condições meteorológicas:		
❖ Temperatura °C: _____	❖ Velocidade do vento Km/h: _____	
❖ Chance de chuva %: _____	❖ Visibilidade Km: _____	
B.5 Tipo de Operação:		
<input type="checkbox"/> VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> BVLOS (<i>Beyond Visual Line of Sight</i>)	
<input type="checkbox"/> EVLOS (<i>Extended Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> Outros: _____	
B.6 Características da localização da edificação:		
<input type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeroportos	<input type="checkbox"/> Distância de 30 m de terceiros	
<input type="checkbox"/> Distância maior 5Km de aeródromos	<input type="checkbox"/> Não sobrevoa instalações militares/prisões	
B.7 Identificação de obstáculos adjacentes:		
<input type="checkbox"/> Norte: _____	<input type="checkbox"/> Sul: _____	
<input type="checkbox"/> Leste: _____	<input type="checkbox"/> Oeste: _____	
B.8 Croqui do terreno identificando local de decolagem, pouso e as fachadas:		
<input checked="" type="checkbox"/> Local de Decolagem <input checked="" type="checkbox"/> Local de Pouso <input checked="" type="checkbox"/> Pouso de emergencial		

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO

3-3

C. Plano captura de imagens

C.1 Modelo de câmera digital:

C.2 Distância câmera-fachada para captura de imagens m:

C.3 Ampliação de margens para captura de imagens:

❖ Sobre altura (S_H): _____ m ❖ Sobre largura (S_L): _____ m

C.4 Dimensões cobertas por cada fotografia:

❖ Altura (h): _____ m ❖ Largura (l): _____ m

C.5 Cobrimentos fotográficos para mosaicagem:

❖ Frontal (C_H): _____ % ❖ Lateral (C_L): _____ %

C.6 Determinação do número de fotografias mínimo por fachada:

❖ Número de fotografias Frontal (N_F): ❖ Número de fotografias Lateral (N_L):

$$N_H = \frac{H + 2 \times S_H - h}{(1 - C_H) \times h} + 1$$

$$N_L = \frac{L + 2 \times S_L - l}{(1 - C_L) \times l} + 1$$

❖ Número de fotografias total por fachada (N_{Tot}): $N_{Tot} = N_F \times N_L$ Fachada 1: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 2: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 3: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 4: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 5: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 6: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 7: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 8: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 9: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____ Fachada 10: N_H : _____ N_L : _____ N_{Tot} : _____

TOTAL FOTOGRAFIAS:

C.7 Informações Adicionais/Comentários:

Apêndice 3: Checklist para missão com VANT

CHECKLIST MISSÃO COM VANT					1-2
A. Cadastro de voo					
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4	
A.1 Data:					
A.2 Horário de início:					
A.3 Horário de término:					
A.4 Fachadas cobertas:					
A.5 Número de Imagens:					
B. Checklist Pré-decolagem					
B.1 Regulamentações para operação de VANT:					
<input type="checkbox"/> Licença/ habilitação piloto	<input type="checkbox"/> Seguro contra danos a terceiros				
<input type="checkbox"/> Homologação da aeronave na ANATEL	<input type="checkbox"/> Pilotos e observadores com 18 anos				
<input type="checkbox"/> Cadastro da aeronave na ANATEL	cumpridos				
B.2 Preparação de equipamentos:					
<input type="checkbox"/> Retirar controle remoto da caixa	<input type="checkbox"/> Colocar o VANT no local predefinido				
<input type="checkbox"/> Ligar controle remoto e levantar antenas	para decolagem				
<input type="checkbox"/> Retirar VANT da caixa	<input type="checkbox"/> Verificar visualização da câmera				
<input type="checkbox"/> Encaixar hélices	<input type="checkbox"/> Verificar conexão de satélite (número)				
<input type="checkbox"/> Encaixar cartão de memória SD	<input type="checkbox"/> Verificar níveis de bateria para um voo				
<input type="checkbox"/> Inserir bateria do VANT	seguro (VANT e Controle remoto) %				
<input type="checkbox"/> Checar encaixe de hélices	<input type="checkbox"/> Verificar a indicação de “Safe to fly” no				
<input type="checkbox"/> Remover proteção da câmera	aplicativo do controle				
<input type="checkbox"/> Ligar bateria do VANT	<input type="checkbox"/> Observador preparado para iniciar o voo				
<input type="checkbox"/> Ligar aplicativo de controle (<i>DJI go</i>)	<input type="checkbox"/> Decolar				
C. Checklist Pós-decolagem					
C.1 Teste de manobrabilidade:					
<input type="checkbox"/> Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle	<input type="checkbox"/> Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana				

CHECKLIST MISSÃO COM VANT					2-2
D. Checklist Pré-pouso					
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4	
D.1	Verificar visualização da câmera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D.2	Verificar local de pouso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D.3	Pousar em local aberto e seguro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E. Checklist Pós-pouso e retomada de voo imediatamente					
E.1	Desligar VANT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.2	Trocar bateria por outra carregada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.3	Ligar nova bateria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.4	Verificar espaço no cartão de memória	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.5	Verificar conexão do aplicativo/câmera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.6	Verificar conexão com satélite (número)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.7	Verificar níveis de bateria para um voo seguro (VANT e Controle remoto) %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.8	Verificar indicação “ <i>Safe to fly</i> ”	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.9	Observador preparado para retomar voo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.10	Decolar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.11	Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
E.12	Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
F. Checklist Fim da missão					
F.1 Processo para finalizar missão:					
<input type="checkbox"/>	Pousar em local aberto e seguro	<input type="checkbox"/>	Remover hélices		
<input type="checkbox"/>	Desligar bateria do VANT	<input type="checkbox"/>	Colocar proteção da câmera		
<input type="checkbox"/>	Desligar controle remoto	<input type="checkbox"/>	Guardar VANT na caixa		
<input type="checkbox"/>	Remover bateria do VANT	<input type="checkbox"/>	Guardar Controle remoto na caixa		

Apêndice 4: Planilha *Flight log*

PLANILHA FLIGHT LOG								
N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada m	Altitude máxima m	Duração voo min
1		__/__/__	__:__					
2		__/__/__	__:__					
3		__/__/__	__:__					
4		__/__/__	__:__					
5		__/__/__	__:__					
6		__/__/__	__:__					
7		__/__/__	__:__					
8		__/__/__	__:__					
9		__/__/__	__:__					
10		__/__/__	__:__					
11		__/__/__	__:__					
12		__/__/__	__:__					
13		__/__/__	__:__					
14		__/__/__	__:__					
15		__/__/__	__:__					

Apêndice 5: Formulários e *checklist* completos estudo de caso A

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO				1-3
A. Informações da edificação				
A.1 Nome da Edificação: Instituto de Inovação Tecnológica - UPE				
A.2 Localização da Edificação: Barrio Curado				
A.3 Tipo de Edificação:				
<input type="checkbox"/> Comercial		<input type="checkbox"/> Residencial		
<input type="checkbox"/> Industrial		<input checked="" type="checkbox"/> Acadêmico		
<input type="checkbox"/> Governamental		<input type="checkbox"/> Outros: _____		
<input type="checkbox"/> Estabelecimento de Saúde				
A.4 Tipo de revestimento de fachada:				
<input type="checkbox"/> Argamassa		<input type="checkbox"/> Pétreo		
<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmico		<input type="checkbox"/> Outro: _____		
A.5 Idade da Edificação: 2 anos				
A.6 Área Construída: 1.550,00 m ²				
A.7 Altura da Edificação: 16.50 m				
A.8 Número de Andares: 4				
A.9 Número de Fachadas: 8				
A.10 Geometria das fachadas m:				
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	Altura (H): 14,50m	Largura (L): 27,50m	Área (H×L): 398,75 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	Altura (H): 14,50m	Largura (L): 11,00m	Área (H×L): 159,50 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	Altura (H): 14,50m	Largura (L): 9,50m	Área (H×L): 137,75 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	Altura (H): 16,50m	Largura (L): 8,50m	Área (H×L): 140,25 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 5:	Altura (H): 16,50m	Largura (L): 10,00m	Área (H×L): 165,00 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 6:	Altura (H): 16,50m	Largura (L): 8,50m	Área (H×L): 140,25 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 7:	Altura (H): 14,50m	Largura (L): 8,00m	Área (H×L): 116,00 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 8:	Altura (H): 14,50m	Largura (L): 11,00m	Área (H×L): 159,50 m ²	
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	

(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
2-3	
B. Plano de voo	
B.1 Modelo de VANT: DJI <i>Phantom 4 Pro V2.0</i>	
B.2 Número estimado de baterias para operação:	
❖ Autonomia bateria (T_A): 26 min	❖ Tempo operação (T_O): 35 min
❖ Número de baterias estimado (T_O / T_A): 2	
B.3 Data e horário da Operação: 03 de setembro 2018 10:00 horas	
B.4 Previsão das condições meteorológicas:	
❖ Temperatura: 33 °C	❖ Velocidade do vento: 18 Km/h
❖ Chance de chuva: 10 %	❖ Visibilidade: 16,10 Km
B.5 Tipo de Operação:	
<input checked="" type="checkbox"/> VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> BVLOS (<i>Beyond Visual Line of Sight</i>)
<input type="checkbox"/> EVLOS (<i>Extended Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> Outros: _____
B.6 Características da localização da edificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeroportos	<input checked="" type="checkbox"/> Distância de 30 m de terceiros
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeródromos	<input checked="" type="checkbox"/> Não sobrevoa instalações militares/prisões
B.7 Identificação de obstáculos adjacentes:	
<input type="checkbox"/> Norte: Nenhum	<input type="checkbox"/> Sul: Nenhum
<input checked="" type="checkbox"/> Leste: Rua com fluxo veicular médio	<input type="checkbox"/> Oeste: Nenhum
B.8 Croqui do térreo identificando local de decolagem, pouso e as fachadas:	
<p style="text-align: center;">Fachada 5</p> <p style="text-align: center;">Fachada 4 Fachada 6</p> <p style="text-align: center;">Fachada 3 Fachada 7</p> <p style="text-align: center;">Fachada 2 Fachada 8</p> <p style="text-align: center;">Fachada 1</p> <p style="text-align: right;"> <input checked="" type="checkbox"/> Local de Decolagem <input checked="" type="checkbox"/> Local de Pouso <input checked="" type="checkbox"/> Pouso de emergencial </p>	

(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
3-3	
C. Plano captura de imagens	
C.1 Modelo de câmera digital: CMOS 1" 20MP	
C.2 Distância câmera-fachada para captura de imagens: 8 m	
C.3 Ampliação de margens para captura de imagens:	
❖ Sobre altura (S_H): 2 m	❖ Sobre largura (S_L): 2 m
C.4 Dimensões cobertas por cada fotografia:	
❖ Altura (h): 8,65 m	❖ Largura (l): 11,53 m
C.5 Cobrimentos fotográficos para mosaicagem:	
❖ Frontal (C_H): 75 %	❖ Lateral (C_L): 75 %
C.6 Determinação do número de fotografias mínimo por fachada:	
❖ Número de fotografias Frontal (N_F):	❖ Número de fotografias Lateral (N_L):
$N_H = \frac{H + 2 \times S_H - h}{(1 - C_H) \times h} + 1$	$N_L = \frac{L + 2 \times S_L - l}{(1 - C_L) \times l} + 1$
❖ Número de fotografias subtotal por fachada (N_{Tot}): $N_{Tot} = N_F \times N_L$	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	$N_H: 6$ $N_L: 8$ $N_{Tot}: 48$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	$N_H: 6$ $N_L: 3$ $N_{Tot}: 18$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	$N_H: 6$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 12$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	$N_H: 7$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 14$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 5:	$N_H: 7$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 14$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 6:	$N_H: 7$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 14$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 7:	$N_H: 6$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 12$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 8:	$N_H: 6$ $N_L: 3$ $N_{Tot}: 18$
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
TOTAL FOTOGRAFIAS:	
150	
C.7 Informações Adicionais/Comentários:	
<p>Não há movimento significativo de pessoas nas áreas de decolagem, pouso e sobrevoos da aeronave, por enquanto apenas o pessoal de segurança, limpeza e manutenção do prédio estão presentes no edifício. Medidas de segurança adicionais não resultam necessárias.</p>	

CHECKLIST MISSÃO COM VANT			1-2
A. Cadastro de voo			
	Bateria 1	Bateria 2	
A.1 Data:	03/09/2018	03/09/2018	
A.2 Horário de início:	10:29	13:20	
A.3 Horário de término:	11:15	13:41	
A.4 Fachadas cobertas:	F1; F2; F3; F4; F5	F6; F7; F8	
A.5 Número de Imagens:	116	53	
B. Checklist Pré-decolagem			
B.1 Regulamentações para operação de VANT:			
<input type="checkbox"/> Licença/ habilitação piloto	<input type="checkbox"/> Seguro contra danos a terceiros		
<input checked="" type="checkbox"/> Homologação da aeronave na ANATEL	<input checked="" type="checkbox"/> Pilotos e observadores com 18 anos		
<input checked="" type="checkbox"/> Cadastro da aeronave na ANATEL	cumpridos		
B.2 Preparação de equipamentos:			
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar controle remoto da caixa	<input checked="" type="checkbox"/> Colocar o VANT no local predefinido		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar controle remoto e levantar antenas	para decolagem		
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar VANT da caixa	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar visualização da câmera		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar hélices	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar conexão de satélite (número)		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar cartão de memória SD	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar níveis de bateria para um voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Inserir bateria do VANT	seguro (VANT e Controle remoto) %		
<input checked="" type="checkbox"/> Checar encaixe de hélices	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar a indicação de “ <i>Safe to fly</i> ” no		
<input checked="" type="checkbox"/> Remover proteção da câmera	aplicativo do controle		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/> Observador preparado para iniciar o voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar aplicativo de controle (<i>DJI go</i>)	<input checked="" type="checkbox"/> Decolar		
C. Checklist Pós-decolagem			
C.1 Teste de manobrabilidade:			
<input checked="" type="checkbox"/> Planar o VANT a aproximadamente 3 m	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar se todos os comandos de		
– 10 pés acima do chão e confirmar se	direcionamento estão operando		
ele está sobre controle	corretamente enquanto o VANT plana		

(Continuação)		
CHECKLIST MISSÃO COM VANT		2-2
D. Checklist Pré-pouso		
	Bateria 1	Bateria 2
D.1	Verificar visualização da câmera	<input checked="" type="checkbox"/>
D.2	Verificar local de pouso	<input checked="" type="checkbox"/>
D.3	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>
E. Checklist Pós-pouso e retomada de voo imediatamente		
E.1	Desligar VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
E.2	Trocar bateria por outra carregada	<input checked="" type="checkbox"/>
E.3	Ligar nova bateria	<input checked="" type="checkbox"/>
E.4	Verificar espaço no cartão de memória	<input checked="" type="checkbox"/>
E.5	Verificar conexão do aplicativo/câmera	<input checked="" type="checkbox"/>
E.6	Verificar conexão com satélite (número)	<input checked="" type="checkbox"/>
E.7	Verificar níveis de bateria para um voo seguro (VANT e Controle remoto) %	<input checked="" type="checkbox"/>
E.8	Verificar indicação “ <i>Safe to fly</i> ”	<input checked="" type="checkbox"/>
E.9	Observador preparado para retomar voo	<input checked="" type="checkbox"/>
E.10	Decolar	<input checked="" type="checkbox"/>
E.11	Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle	<input checked="" type="checkbox"/>
E.12	Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	<input checked="" type="checkbox"/>
F. Checklist Fim da missão		
F.1 Processo para finalizar missão:		
<input checked="" type="checkbox"/>	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar controle remoto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Remover bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>

PLANILHA <i>FLIGHT LOG</i>								
N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada m	Altitude máxima m	Duração voo min
1	Curado	03/09/18	10:29	Execução	49	8	14,5	11
2	Curado	03/09/18	10:45	Execução	20	8	14,5	5
3	Curado	03/09/18	10:55	Execução	15	8	14,5	3
4	Curado	03/09/18	11:01	Execução	17	8	16,5	5
5	Curado	03/09/18	11.11	Execução	15	8	16,5	4
6	Curado	03/09/18	13:20	Execução	18	8	16,5	4
7	Curado	03/09/18	13:25	Execução	14	8	14,5	5
8	Curado	03/09/18	13:35	Execução	21	8	14,5	6

Apêndice 6: Formulários e *checklist* completos estudo de caso B

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO				1-3
A. Informações da edificação				
A.1 Nome da Edificação: Edifício Jardins de Madalena				
A.2 Localização da Edificação: Barrio Madalena				
A.3 Tipo de Edificação:				
<input type="checkbox"/> Comercial		<input checked="" type="checkbox"/> Residencial		
<input type="checkbox"/> Industrial		<input type="checkbox"/> Acadêmico		
<input type="checkbox"/> Governamental		<input type="checkbox"/> Outros: _____		
<input type="checkbox"/> Estabelecimento de Saúde				
A.4 Tipo de revestimento de fachada:				
<input type="checkbox"/> Argamassa		<input type="checkbox"/> Pétreo		
<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmico		<input type="checkbox"/> Outro: _____		
A.5 Idade da Edificação: 10 anos				
A.6 Área Construída: 4.424,50 m ²				
A.7 Altura da Edificação: 48,00 m				
A.8 Número de Andares: 14				
A.9 Número de Fachadas: 4				
A.10 Geometria das fachadas m:				
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	Altura (H): 46,00m	Largura (L): 19,00m	Área (H×L): 874,00 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	Altura (H): 46,00m	Largura (L): 13,00m	Área (H×L): 598,00 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	Altura (H): 48,00m	Largura (L): 20,50m	Área (H×L): 984,00 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	Altura (H): 46,00m	Largura (L): 10,00m	Área (H×L): 460,00 m ²	
<input type="checkbox"/> Fachada 5:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 6:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 7:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 8:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	

(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
2-3	
B. Plano de voo	
B.1 Modelo de VANT: DJI <i>Phantom 4 Pro V2.0</i>	
B.2 Número estimado de baterias para operação:	
❖ Autonomia bateria (T_A): 26 min	❖ Tempo operação (T_O min): 50
❖ Número de baterias estimado (T_O / T_A): 2	
B.3 Data e horário da Operação: 08 de maio 2019 9:00 horas	
B.4 Previsão das condições meteorológicas:	
❖ Temperatura: 29 °C	❖ Velocidade do vento: 10 Km/h
❖ Chance de chuva: 75 %	❖ Visibilidade: 9,7 Km
B.5 Tipo de Operação:	
<input checked="" type="checkbox"/> VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> BVLOS (<i>Beyond Visual Line of Sight</i>)
<input type="checkbox"/> EVLOS (<i>Extended Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> Outros: _____
B.6 Características da localização da edificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeroportos	<input checked="" type="checkbox"/> Distância de 30 m de terceiros
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeródromos	<input checked="" type="checkbox"/> Não sobrevoa instalações militares/prisões
B.7 Identificação de obstáculos adjacentes:	
<input checked="" type="checkbox"/> Norte: Edifícios de 22 e 8 andares	<input checked="" type="checkbox"/> Sul: Rua com fluxo veicular alto
<input checked="" type="checkbox"/> Leste: Edifício 18 andares	<input checked="" type="checkbox"/> Oeste: Casa de 2 andares
B.8 Croqui do térreo identificando local de decolagem, pouso e as fachadas:	

(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
3-3	
C. Plano captura de imagens	
C.1 Modelo de câmera digital: CMOS 1" 20MP	
C.2 Distância câmera-fachada para captura de imagens: 8 m	
C.3 Ampliação de margens para captura de imagens:	
❖ Sobre altura (S_H): 1 m	❖ Sobre largura (S_L): 1 m
C.4 Dimensões cobertas por cada fotografia:	
❖ Altura (h): 7,30 m	❖ Largura (l): 12,97 m
C.5 Cobrimentos fotográficos para mosaicagem:	
❖ Frontal (C_H): 75 %	❖ Lateral (C_L): 75 %
C.6 Determinação do número de fotografias mínimo por fachada:	
❖ Número de fotografias Frontal (N_F):	❖ Número de fotografias Lateral (N_L):
$N_H = \frac{H + 2 \times S_H - h}{(1 - C_H) \times h} + 1$	$N_L = \frac{L + 2 \times S_L - l}{(1 - C_L) \times l} + 1$
❖ Número de fotografias subtotal por fachada (N_{Tot}): $N_{Tot} = N_F \times N_L$	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	$N_H: 24$ $N_L: 4$ $N_{Tot}: 96$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	$N_H: 24$ $N_L: 2$ $N_{Tot}: 48$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	$N_H: 25$ $N_L: 4$ $N_{Tot}: 100$
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	$N_H: 24$ $N_L: 1$ $N_{Tot}: 24$
<input type="checkbox"/> Fachada 5:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 6:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 7:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 8:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	$N_H: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_L: \underline{\hspace{2cm}}$ $N_{Tot}: \underline{\hspace{2cm}}$
TOTAL FOTOGRAFIAS:	
268	
C.7 Informações Adicionais/Comentários:	
<p>Não existem áreas disponíveis na planta baixa para decolagem e pouso, selecionando o primeiro andar (estacionamentos) para esses fins. O cruzamento de ventos gerados entre os edifícios de altura média e grande, circundantes à edificação analisada, são um fator importante a considerar no momento de decolagem e pouso da aeronave.</p>	

CHECKLIST MISSÃO COM VANT			1-2
A. Cadastro de voo			
	Bateria 1	Bateria 2	
A.1 Data:	08/05/2019	08/05/2019	
A.2 Horário de início:	9:00	12:10	
A.3 Horário de término:	9:45	12:42	
A.4 Fachadas cobertas:	F1; F2	F3; F4	
A.5 Número de Imagens:	146	127	
B. Checklist Pré-decolagem			
B.1 Regulamentações para operação de VANT:			
<input type="checkbox"/> Licença/ habilitação piloto	<input type="checkbox"/> Seguro contra danos a terceiros		
<input checked="" type="checkbox"/> Homologação da aeronave na ANATEL	<input checked="" type="checkbox"/> Pilotos e observadores com 18 anos		
<input checked="" type="checkbox"/> Cadastro da aeronave na ANATEL	cumpridos		
B.2 Preparação de equipamentos:			
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar controle remoto da caixa	<input checked="" type="checkbox"/> Colocar o VANT no local predefinido		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar controle remoto e levantar antenas	para decolagem		
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar VANT da caixa	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar visualização da câmera		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar hélices	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar conexão de satélite (número)		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar cartão de memória SD	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar níveis de bateria para um voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Inserir bateria do VANT	seguro (VANT e Controle remoto) %		
<input checked="" type="checkbox"/> Checar encaixe de hélices	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar a indicação de “Safe to fly” no		
<input checked="" type="checkbox"/> Remover proteção da câmera	aplicativo do controle		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/> Observador preparado para iniciar o voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar aplicativo de controle (<i>DJI go</i>)	<input checked="" type="checkbox"/> Decolar		
C. Checklist Pós-decolagem			
C.1 Teste de manobrabilidade:			
<input checked="" type="checkbox"/> Planar o VANT a aproximadamente 3 m	<input checked="" type="checkbox"/> Verificar se todos os comandos de		
– 10 pés acima do chão e confirmar se	direcionamento estão operando		
ele está sobre controle	corretamente enquanto o VANT plana		

(Continuação)		
CHECKLIST MISSÃO COM VANT		2-2
D. Checklist Pré-pouso		
	Bateria 1	Bateria 2
D.1	Verificar visualização da câmera	<input checked="" type="checkbox"/>
D.2	Verificar local de pouso	<input checked="" type="checkbox"/>
D.3	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>
E. Checklist Pós-pouso e retomada de voo imediatamente		
E.1	Desligar VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
E.2	Trocar bateria por outra carregada	<input checked="" type="checkbox"/>
E.3	Ligar nova bateria	<input checked="" type="checkbox"/>
E.4	Verificar espaço no cartão de memória	<input checked="" type="checkbox"/>
E.5	Verificar conexão do aplicativo/câmera	<input checked="" type="checkbox"/>
E.6	Verificar conexão com satélite (número)	<input checked="" type="checkbox"/>
E.7	Verificar níveis de bateria para um voo seguro (VANT e Controle remoto) %	<input checked="" type="checkbox"/>
E.8	Verificar indicação “ <i>Safe to fly</i> ”	<input checked="" type="checkbox"/>
E.9	Observador preparado para retomar voo	<input checked="" type="checkbox"/>
E.10	Decolar	<input checked="" type="checkbox"/>
E.11	Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle	<input checked="" type="checkbox"/>
E.12	Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	<input checked="" type="checkbox"/>
F. Checklist Fim da missão		
F.1 Processo para finalizar missão:		
<input checked="" type="checkbox"/>	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar controle remoto	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Remover bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>

PLANILHA <i>FLIGHT LOG</i>								
N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada m	Altitude máxima m	Duração voo min
1	Madalena	08/05/19	9:00	Execução	97	8	46	13
2	Madalena	08/05/19	9:31	Execução	49	8	46	14
3	Madalena	08/05/19	12:10	Execução	101	8	48	15
4	Madalena	08/05/19	12:31	Execução	26	8	46	11

Apêndice 7: Formulários e *checklist* completos estudo de caso C

FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO				1-3
A. Informações da edificação				
A.1 Nome da Edificação: Edifício Ayrton Carvalho				
A.2 Localização da Edificação: Bairro Casa Amarela				
A.3 Tipo de Edificação:				
<input type="checkbox"/> Comercial		<input checked="" type="checkbox"/> Residencial		
<input type="checkbox"/> Industrial		<input type="checkbox"/> Acadêmico		
<input type="checkbox"/> Governamental		<input type="checkbox"/> Outros: _____		
<input type="checkbox"/> Estabelecimento de Saúde				
A.4 Tipo de revestimento de fachada:				
<input type="checkbox"/> Argamassa		<input type="checkbox"/> Pétreo		
<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmico		<input type="checkbox"/> Outro: _____		
A.5 Idade da Edificação: 5 anos				
A.6 Área Construída: 12.450,00 m ²				
A.7 Altura da Edificação: 120,50 m				
A.8 Número de Andares: 37				
A.9 Número de Fachadas: 4				
A.10 Geometria das fachadas m:				
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	Altura (H): 120,50m	Largura (L): 9,60m	Área (H×L): 1.156,80 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	Altura (H): 120,50m	Largura (L): 30,40m	Área (H×L): 3.663,20 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	Altura (H): 120,50m	Largura (L): 9,60m	Área (H×L): 1.156,80 m ²	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	Altura (H): 120,50m	Largura (L): 30,40m	Área (H×L): 3.663,20 m ²	
<input type="checkbox"/> Fachada 5:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 6:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 7:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 8:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	Altura (H): _____	Largura (L): _____	Área (H×L) _____	

(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
2-3	
B. Plano de voo	
B.1 Modelo de VANT: DJI <i>Phantom 4 Pro V2.0</i>	
B.2 Número estimado de baterias para operação:	
❖ Autonomia bateria (T_A): 26 min	❖ Tempo operação (T_O min): 80
❖ Número de baterias estimado (T_O / T_A): 3	
B.3 Data e horário da Operação: 09 de setembro 2019 8:00 horas	
B.4 Previsão das condições meteorológicas:	
❖ Temperatura: 25 °C	❖ Velocidade do vento: 21 Km/h
❖ Chance de chuva: 10 %	❖ Visibilidade: 11,3 Km
B.5 Tipo de Operação:	
<input checked="" type="checkbox"/> VLOS (<i>Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> BVLOS (<i>Beyond Visual Line of Sight</i>)
<input type="checkbox"/> EVLOS (<i>Extended Visual Line of Sight</i>)	<input type="checkbox"/> Outros: _____
B.6 Características da localização da edificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeroportos	<input checked="" type="checkbox"/> Distância de 30 m de terceiros
<input checked="" type="checkbox"/> Distância maior 5 Km de aeródromos	<input checked="" type="checkbox"/> Não sobrevoa instalações militares/prisões
B.7 Identificação de obstáculos adjacentes:	
<input type="checkbox"/> Norte:	<input checked="" type="checkbox"/> Sul: Casa de 3 andares
<input checked="" type="checkbox"/> Leste: Rua com fluxo veicular alto	<input checked="" type="checkbox"/> Oeste: Edifício de 20 andares
B.8 Croqui do terreno identificando local de decolagem, pouso e as fachadas:	
<p>The diagram shows a site plan of a building with four facades labeled Fachada 1, Fachada 2, Fachada 3, and Fachada 4. To the left of Fachada 1 is an area labeled 'Andar 1: Estacionamento' (Parking) containing a green triangle and a red square. A north arrow is located in the top right corner. A legend in the bottom right corner defines the symbols: a green triangle for 'Local de Decolagem' (Takeoff location), a red square for 'Local de Pouso' (Landing location), and an orange circle with a dot for 'Pouso de emergencial' (Emergency landing). An orange circle with a dot is placed on the roof area between Fachada 1 and Fachada 2.</p>	

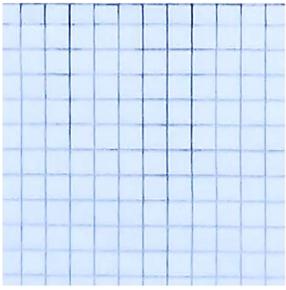
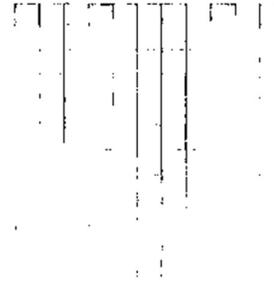
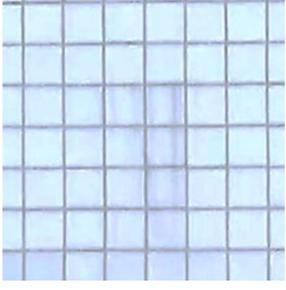
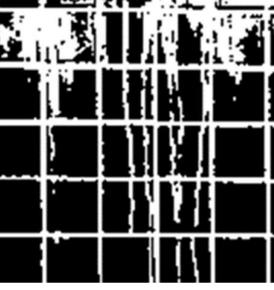
(Continuação)	
FORMULÁRIO DE PLANEJAMENTO	
3-3	
C. Plano captura de imagens	
C.1 Modelo de câmera digital: CMOS 1" 20MP	
C.2 Distância câmera-fachada para captura de imagens: 8 m	
C.3 Ampliação de margens para captura de imagens:	
❖ Sobre altura (S _H): 1 m	❖ Sobre largura (S _L): 1 m
C.4 Dimensões cobertas por cada fotografia:	
❖ Altura (h): 7,30 m	❖ Largura (l): 12,97 m
C.5 Cobrimentos fotográficos para mosaicagem:	
❖ Frontal (C _H): 75 %	❖ Lateral (C _L): 75 %
C.6 Determinação do número de fotografias mínimo por fachada:	
❖ Número de fotografias Frontal (N _F):	❖ Número de fotografias Lateral (N _L):
$N_H = \frac{H + 2 \times S_H - h}{(1 - C_H) \times h} + 1$	$N_L = \frac{L + 2 \times S_L - l}{(1 - C_L) \times l} + 1$
❖ Número de fotografias subtotal por fachada (N _{Tot}): $N_{Tot} = N_F \times N_L$	
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 1:	N _H : 64 N _L : 1 N _{Tot} : 64
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 2:	N _H : 64 N _L : 7 N _{Tot} : 448
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 3:	N _H : 64 N _L : 1 N _{Tot} : 64
<input checked="" type="checkbox"/> Fachada 4:	N _H : 64 N _L : 7 N _{Tot} : 448
<input type="checkbox"/> Fachada 5:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
<input type="checkbox"/> Fachada 6:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
<input type="checkbox"/> Fachada 7:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
<input type="checkbox"/> Fachada 8:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
<input type="checkbox"/> Fachada 9:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
<input type="checkbox"/> Fachada 10:	N _H : _____ N _L : _____ N _{Tot} : _____
TOTAL FOTOGRAFIAS:	1.024
C.7 Informações Adicionais/Comentários:	
<p>Não existem áreas disponíveis na planta baixa para decolagem e pouso, selecionando o primeiro andar (estacionamentos) para esses fins. O cruzamento de ventos gerados entre os edifícios de altura média e grande, circundantes à edificação analisada, são um fator importante a considerar no momento de decolagem e pouso da aeronave.</p>	

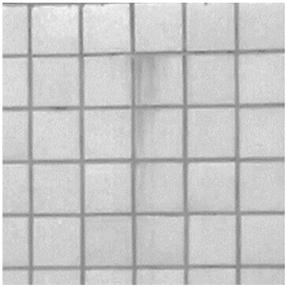
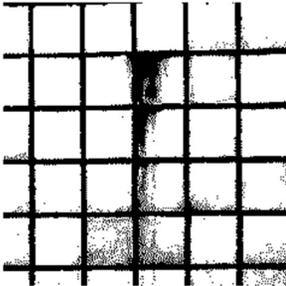
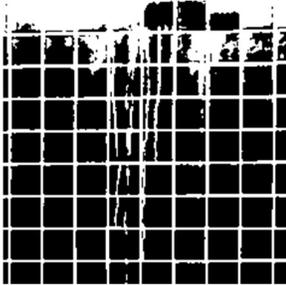
CHECKLIST MISSÃO COM VANT				1-2
A. Cadastro de voo				
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	
A.1 Data:	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	
A.2 Horário de início:	8:28	10:35	13:15	
A.3 Horário de término:	8:56	11:02	13:41	
A.4 Fachadas cobertas:	F1; F3	F2	F4	
A.5 Número de Imagens:	125	412	405	
B. Checklist Pré-decolagem				
B.1 Regulamentações para operação de VANT:				
<input type="checkbox"/> Licença/ habilitação piloto		<input type="checkbox"/> Seguro contra danos a terceiros		
<input checked="" type="checkbox"/> Homologação da aeronave na ANATEL		<input checked="" type="checkbox"/> Pilotos e observadores com 18 anos		
<input checked="" type="checkbox"/> Cadastro da aeronave na ANATEL		cumpridos		
B.2 Preparação de equipamentos:				
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar controle remoto da caixa		<input checked="" type="checkbox"/> Colocar o VANT no local predefinido		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar controle remoto e levantar antenas		para decolagem		
<input checked="" type="checkbox"/> Retirar VANT da caixa		<input checked="" type="checkbox"/> Verificar visualização da câmera		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar hélices		<input checked="" type="checkbox"/> Verificar conexão de satélite (número)		
<input checked="" type="checkbox"/> Encaixar cartão de memória SD		<input checked="" type="checkbox"/> Verificar níveis de bateria para um voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Inserir bateria do VANT		seguro (VANT e Controle remoto) %		
<input checked="" type="checkbox"/> Checar encaixe de hélices		<input checked="" type="checkbox"/> Verificar a indicação de “ <i>Safe to fly</i> ” no		
<input checked="" type="checkbox"/> Remover proteção da câmera		aplicativo do controle		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar bateria do VANT		<input checked="" type="checkbox"/> Observador preparado para iniciar o voo		
<input checked="" type="checkbox"/> Ligar aplicativo de controle (<i>DJI go</i>)		<input checked="" type="checkbox"/> Decolar		
C. Checklist Pós-decolagem				
C.1 Teste de manobrabilidade:				
<input checked="" type="checkbox"/> Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle		<input checked="" type="checkbox"/> Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana		

(Continuação)			
CHECKLIST MISSÃO COM VANT			
2-2			
D. Checklist Pré-pouso			
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
D.1	Verificar visualização da câmera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D.2	Verificar local de pouso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D.3	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E. Checklist Pós-pouso e retomada de voo imediatamente			
E.1	Desligar VANT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.2	Trocar bateria por outra carregada	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.3	Ligar nova bateria	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.4	Verificar espaço no cartão de memória	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.5	Verificar conexão do aplicativo/câmera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.6	Verificar conexão com satélite (número)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.7	Verificar níveis de bateria para um voo seguro (VANT e Controle remoto) %	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.8	Verificar indicação “ <i>Safe to fly</i> ”	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.9	Observador preparado para retomar voo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.10	Decolar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.11	Planar o VANT a aproximadamente 3 m – 10 pés acima do chão e confirmar se ele está sobre controle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
E.12	Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
F. Checklist Fim da missão			
F.1 Processo para finalizar missão:			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pousar em local aberto e seguro	<input checked="" type="checkbox"/>	Remover hélices
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>	Colocar proteção da câmera
<input checked="" type="checkbox"/>	Desligar controle remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Guardar VANT na caixa
<input checked="" type="checkbox"/>	Remover bateria do VANT	<input checked="" type="checkbox"/>	Guardar Controle remoto na caixa

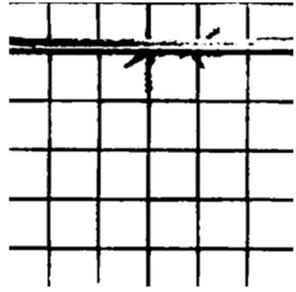
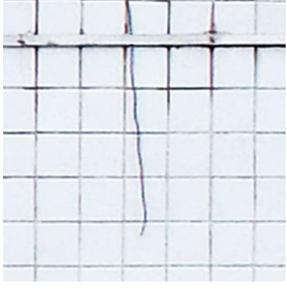
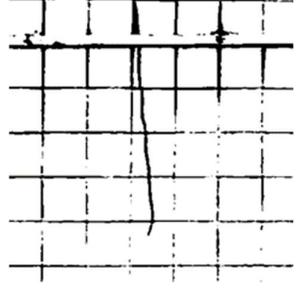
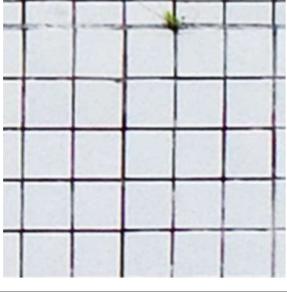
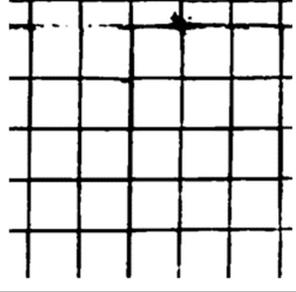
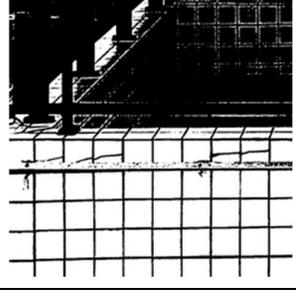
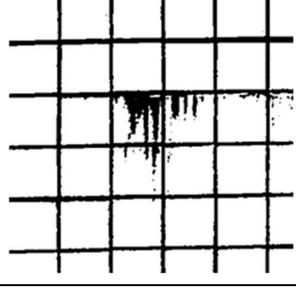
PLANILHA <i>FLIGHT LOG</i>								
N	Local	Data	Hora	Fase do estudo	Número de fotos	Distância fachada m	Altitude máxima m	Duração voo min
1	Casa Amarela	09/09/19	8:28	Execução	62	8	121	13
2	Casa Amarela	09/09/19	8:41	Execução	63	8	121	15
3	Casa Amarela	09/09/19	10:35	Execução	412	8	121	27
4	Casa Amarela	09/09/19	13:15	Execução	405	8	121	26

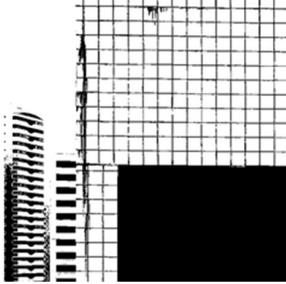
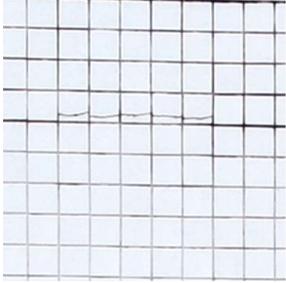
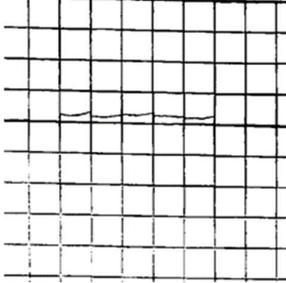
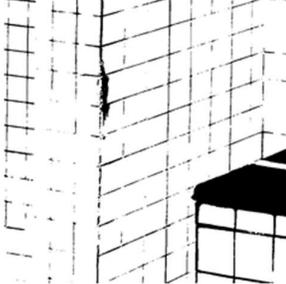
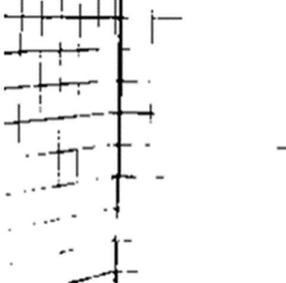
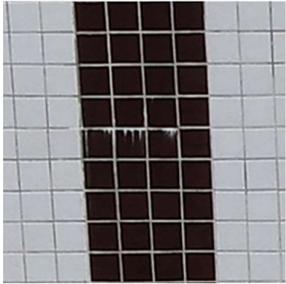
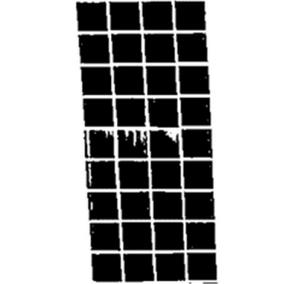
Apêndice 8: Manifestações patológicas estudo de caso A

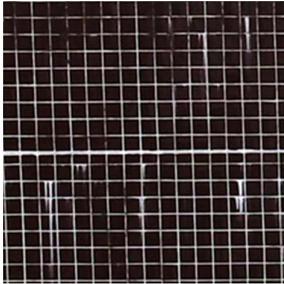
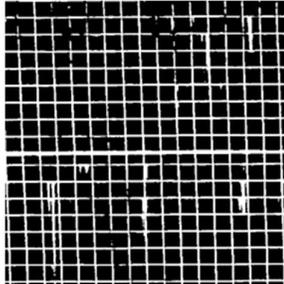
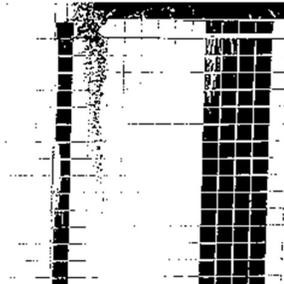
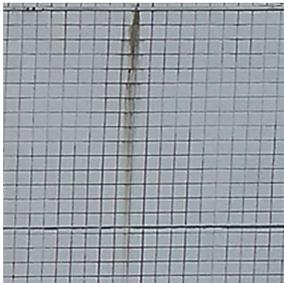
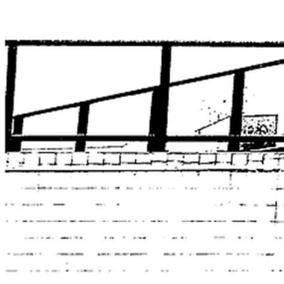
N	Fachada	Tipo de Patologia	Imagem	Imagem Binarizada
1	Fachada 1	Mofo		
2	Fachada 1	Eflorescência		
3	Fachada 2	Fissura		
4	Fachada 2	Eflorescência		
5	Fachada 2	Eflorescência		

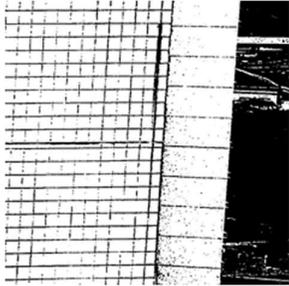
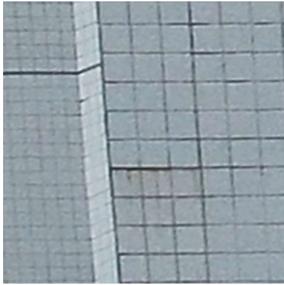
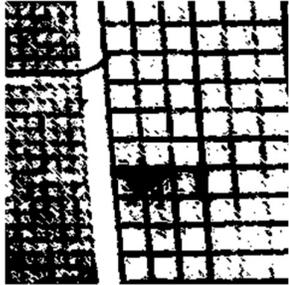
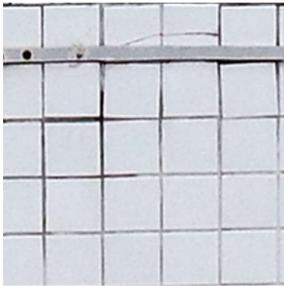
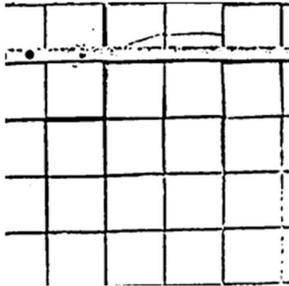
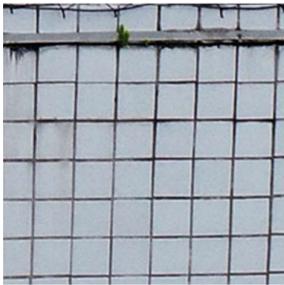
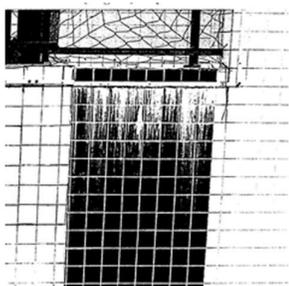
Manifestações patológicas estudo de caso A (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de Patologia	Imagem	Imagem Binarizada
6	Fachada 5	Eflorescência		
7	Fachada 5	Eflorescência		

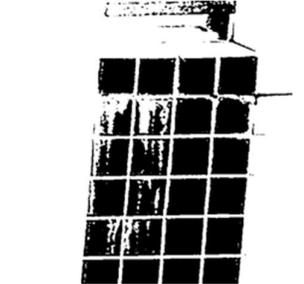
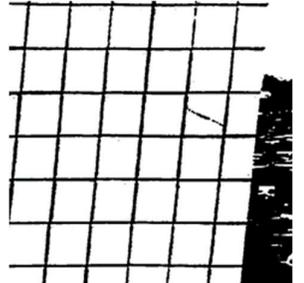
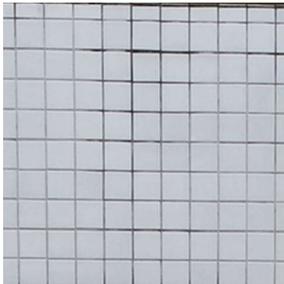
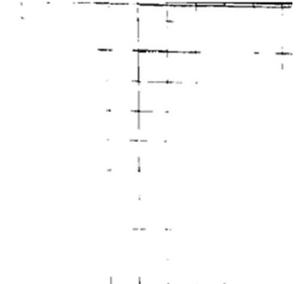
Apêndice 9: Manifestações patológicas estudo de caso B

N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
1	Fachada 1	Mofo		
2	Fachada 1	Trinca		
3	Fachada 2	Mofo		
4	Fachada 2	Trinca e Fissura		
5	Fachada 2	Eflorescência		

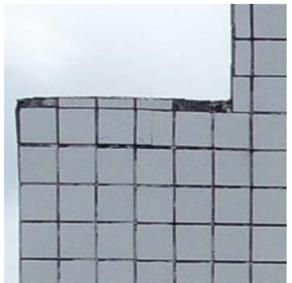
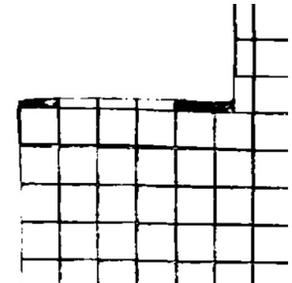
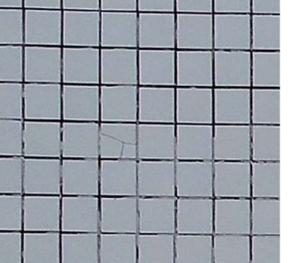
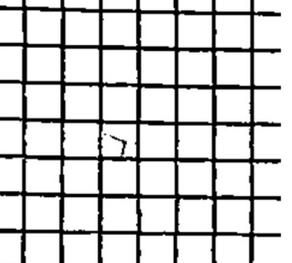
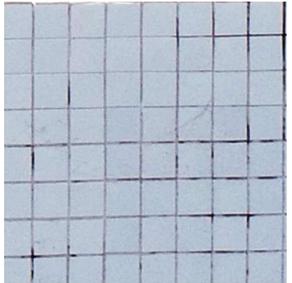
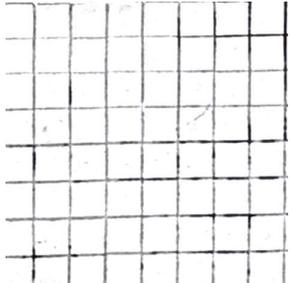
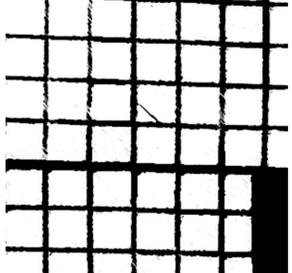
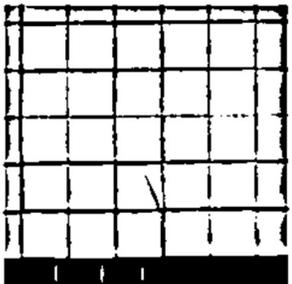
Manifestações patológicas estudo de caso B (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
6	Fachada 2	Eflorescência		
7	Fachada 2	Trinca		
8	Fachada 2	Eflorescência		
9	Fachada 2	Mofo		
10	Fachada 3	Eflorescência		

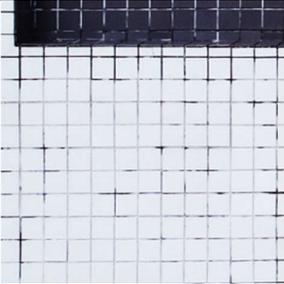
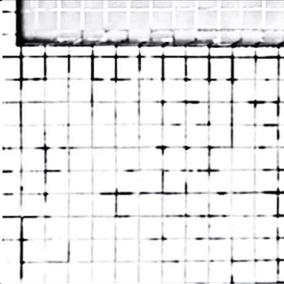
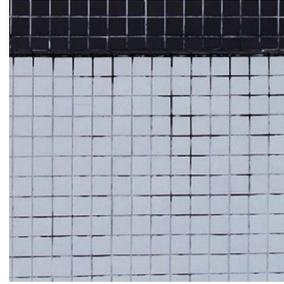
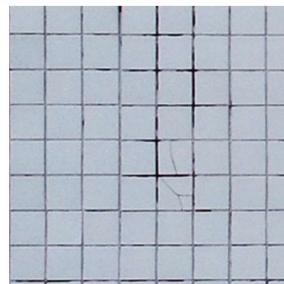
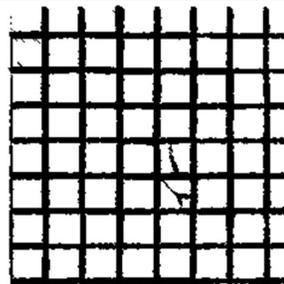
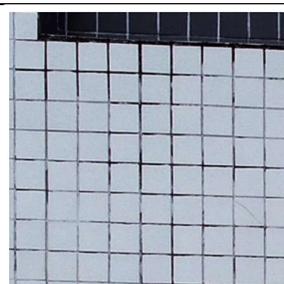
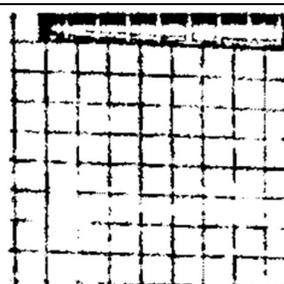
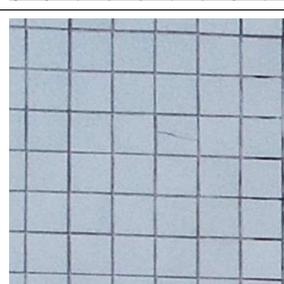
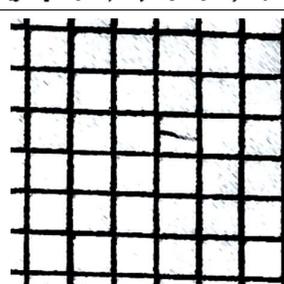
Manifestações patológicas estudo de caso B (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
11	Fachada 3	Eflorescência		
12	Fachada 3	Eflorescência		
13	Fachada 3	Eflorescência		
14	Fachada 3	Eflorescência		
15	Fachada 3	Trinca		

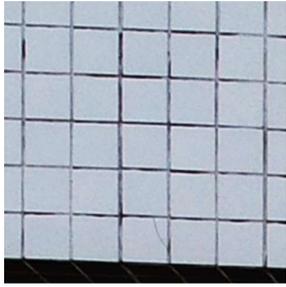
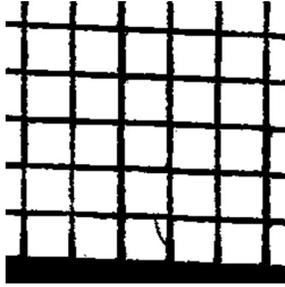
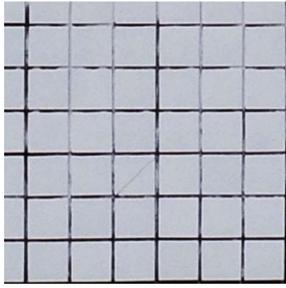
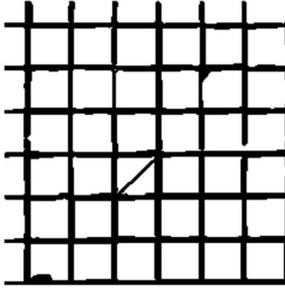
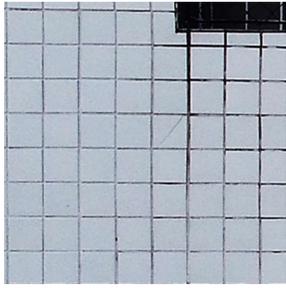
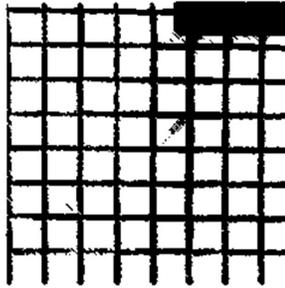
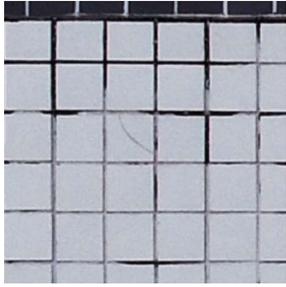
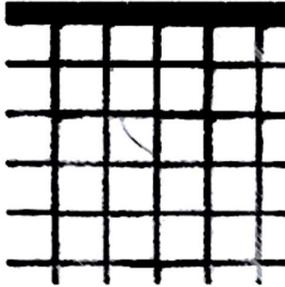
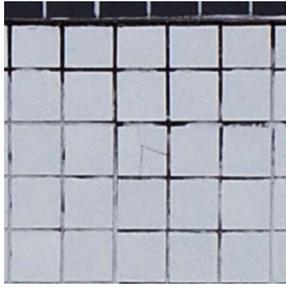
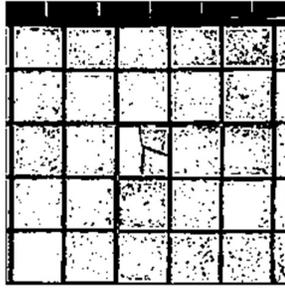
Manifestações patológicas estudo de caso B (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
16	Fachada 3	Eflorescência		
17	Fachada 3	Eflorescência		
18	Fachada 4	Fissura		
19	Fachada 4	Mofó		
20	Fachada 4	Eflorescência		

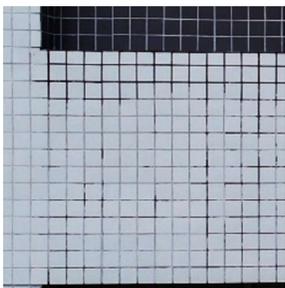
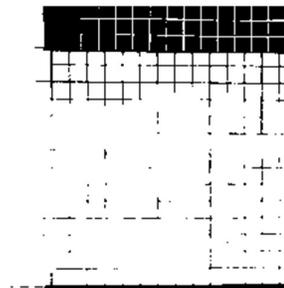
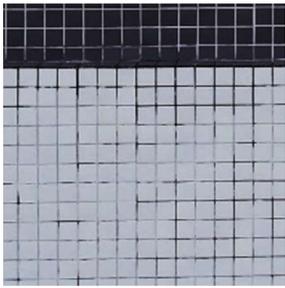
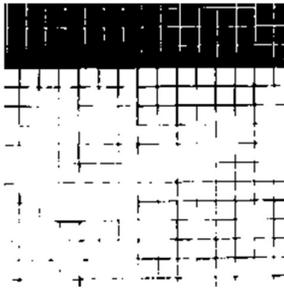
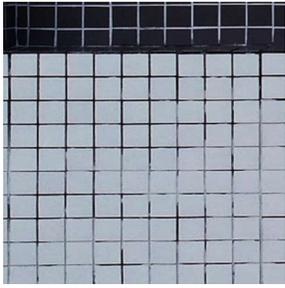
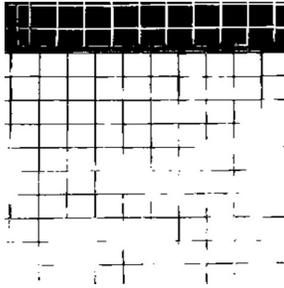
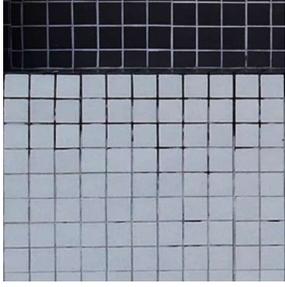
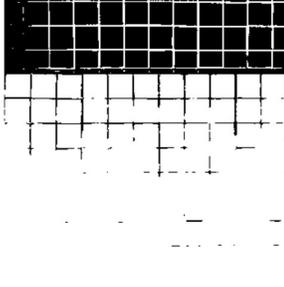
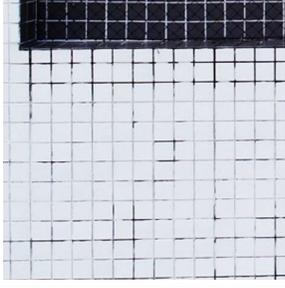
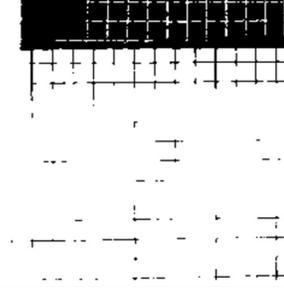
Manifestações patológicas estudo de caso B (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
21	Fachada 4	Eflorescência		
22	Fachada 4	Fissura		
23	Fachada 4	Mofo		
24	Fachada 4	Fissura		

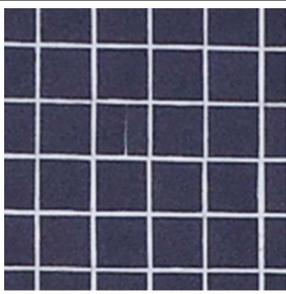
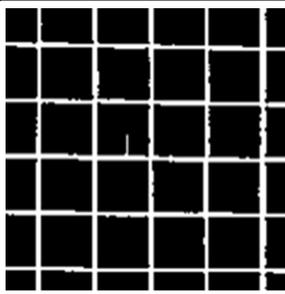
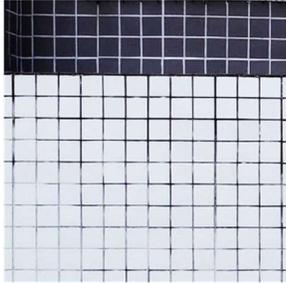
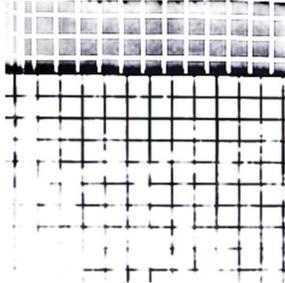
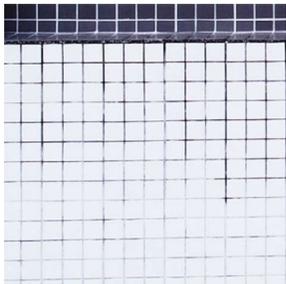
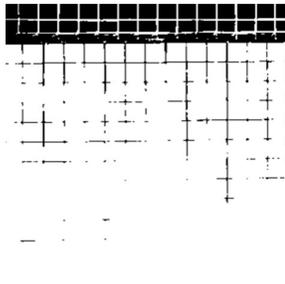
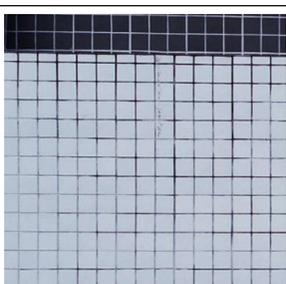
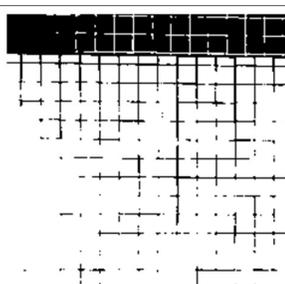
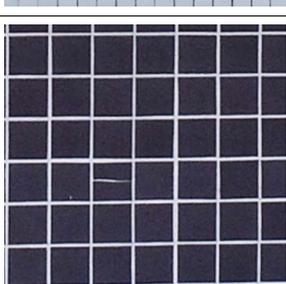
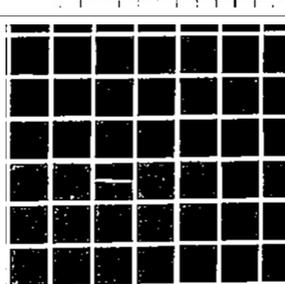
Apêndice 10: Manifestações patológicas estudo de caso C

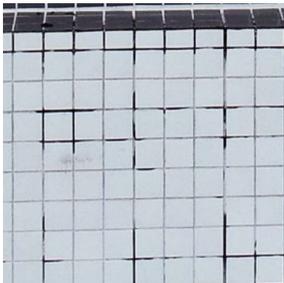
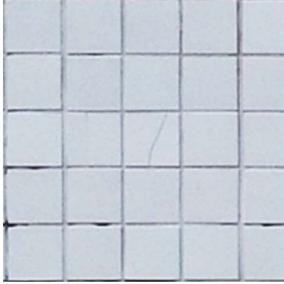
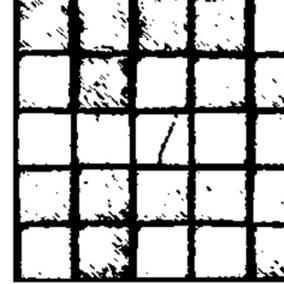
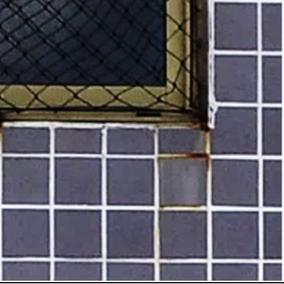
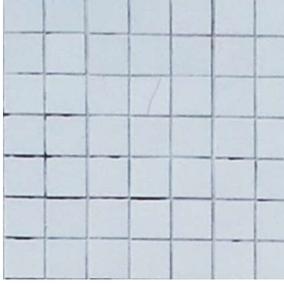
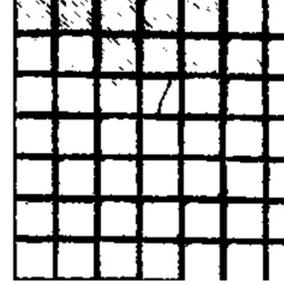
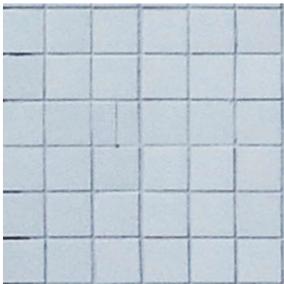
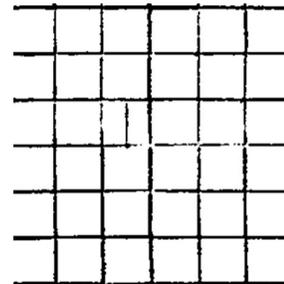
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
1	Fachada 1	Destacamento		
2	Fachada 1	Fissura		
3	Fachada 1	Fissura		
4	Fachada 1	Fissura		
5	Fachada 1	Fissura		

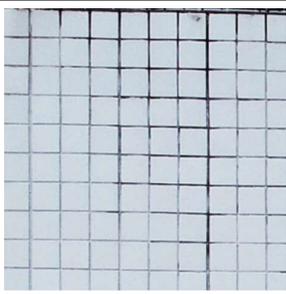
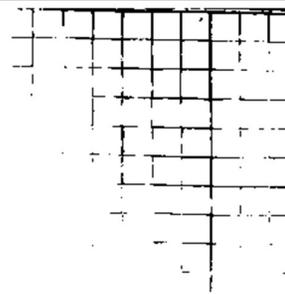
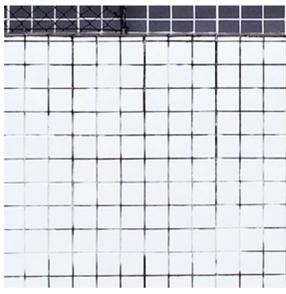
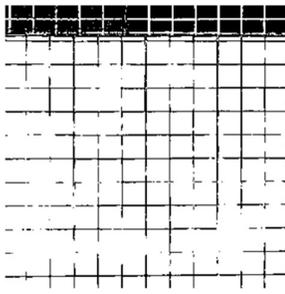
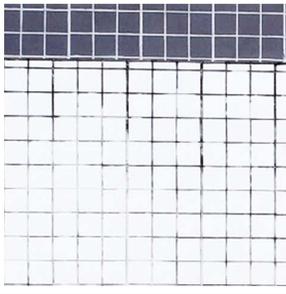
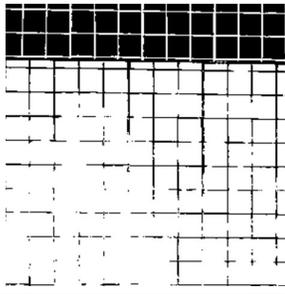
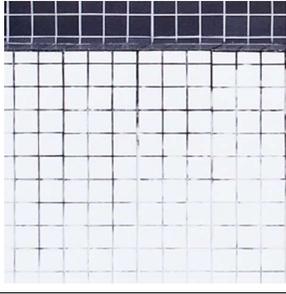
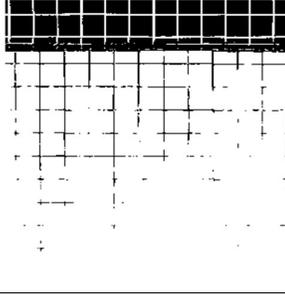
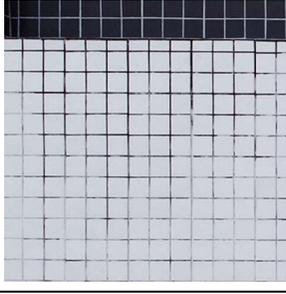
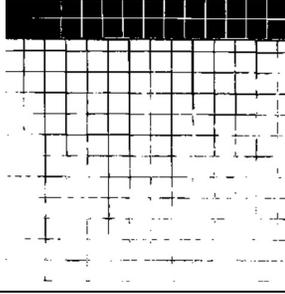
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
6	Fachada 1	Mofa		
7	Fachada 1	Mofa		
8	Fachada 1	Fissura		
9	Fachada 1	Mofa		
10	Fachada 1	Fissura		

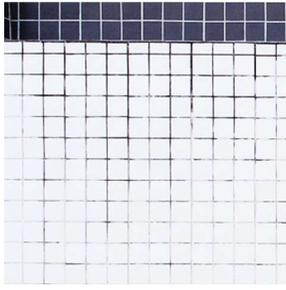
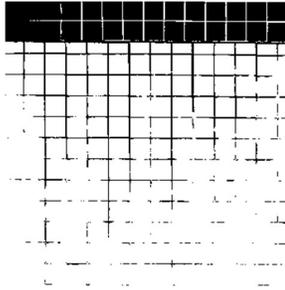
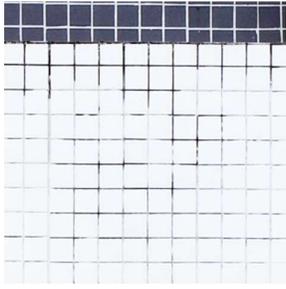
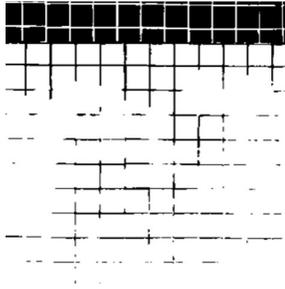
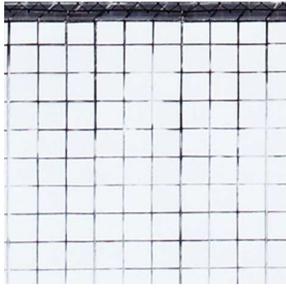
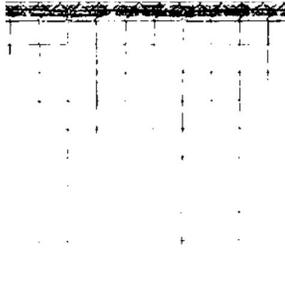
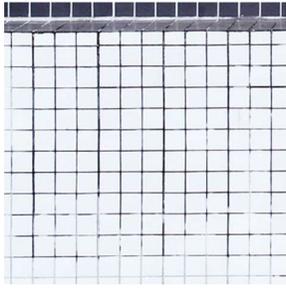
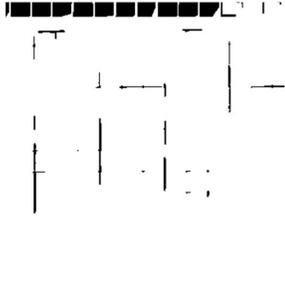
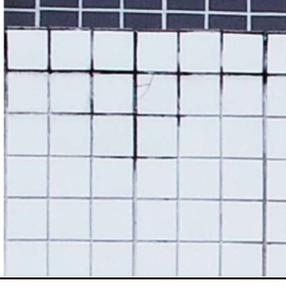
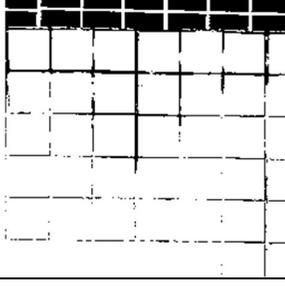
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
11	Fachada 1	Fissura		
12	Fachada 1	Fissura		
13	Fachada 1	Fissura		
14	Fachada 1	Fissura		
15	Fachada 1	Fissura		

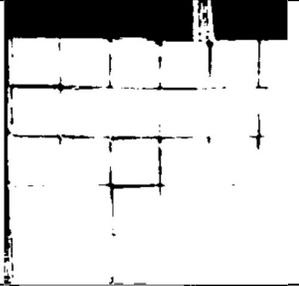
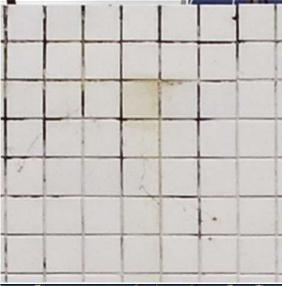
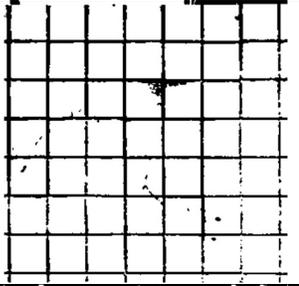
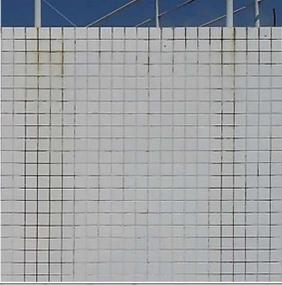
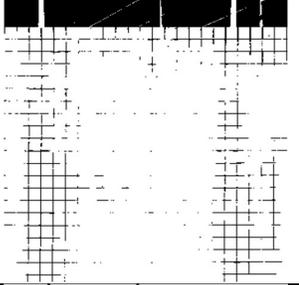
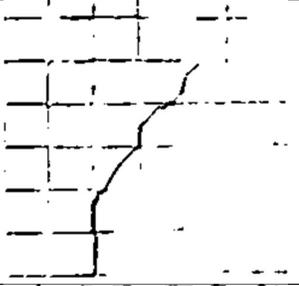
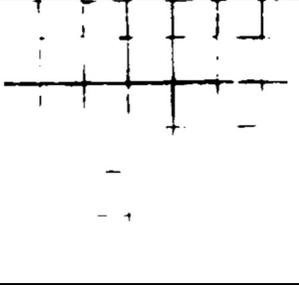
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
16	Fachada 1	Mofa		
17	Fachada 1	Mofa		
18	Fachada 1	Mofa		
19	Fachada 1	Mofa		
20	Fachada 1	Mofa		

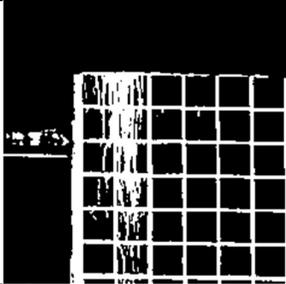
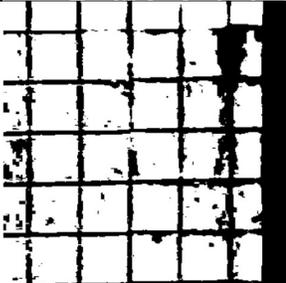
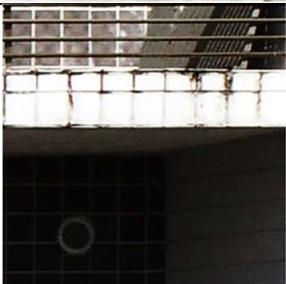
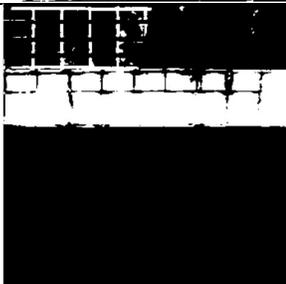
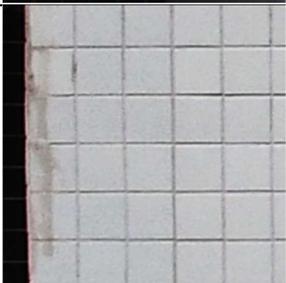
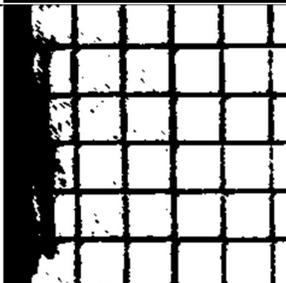
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
21	Fachada 1	Fissura		
22	Fachada 1	Mofo		
23	Fachada 1	Mofo		
24	Fachada 1	Mofo		
25	Fachada 1	Fissura		

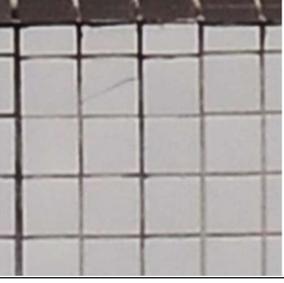
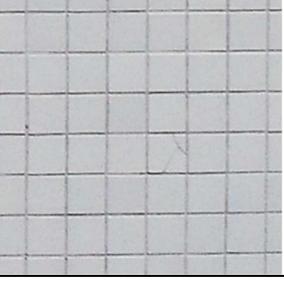
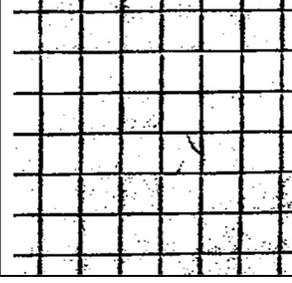
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
26	Fachada 1	Mofos		
27	Fachada 1	Fissura		
28	Fachada 1	Eflorescência		
29	Fachada 1	Fissura		
30	Fachada 1	Fissura		

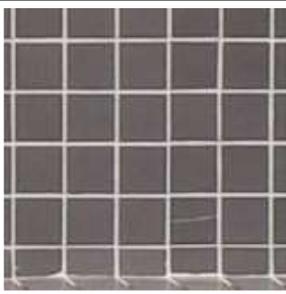
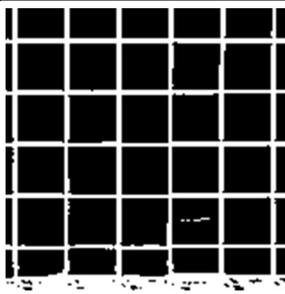
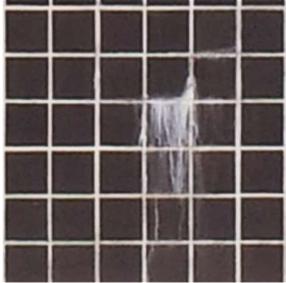
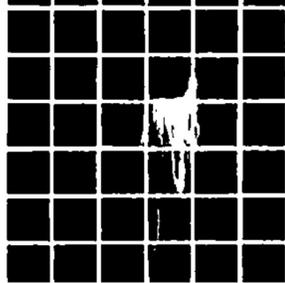
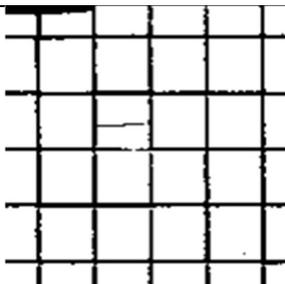
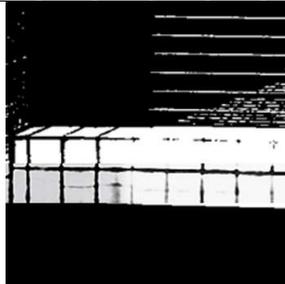
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
31	Fachada 1	Mofa		
32	Fachada 1	Mofa		
33	Fachada 1	Mofa		
34	Fachada 1	Mofa		
35	Fachada 1	Mofa		

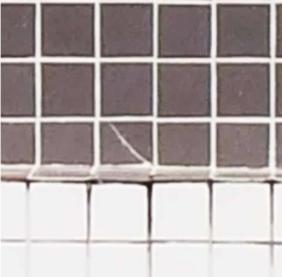
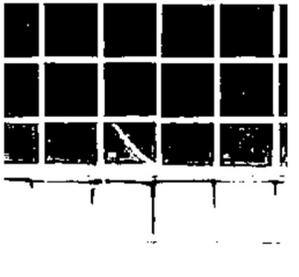
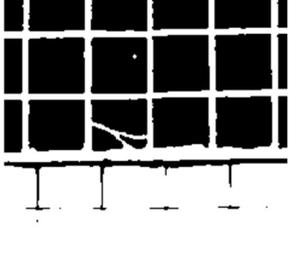
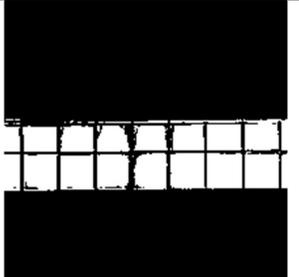
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
36	Fachada 1	Mofo		
37	Fachada 1	Mofo		
38	Fachada 1	Mofo		
39	Fachada 1	Mofo		
40	Fachada 1	Mofo		

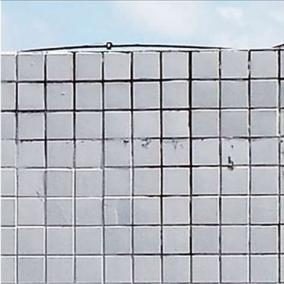
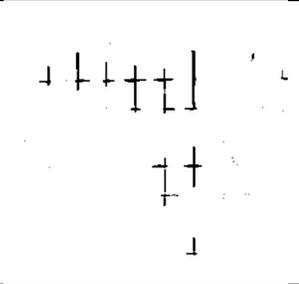
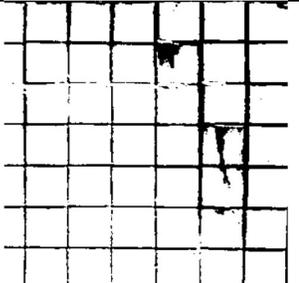
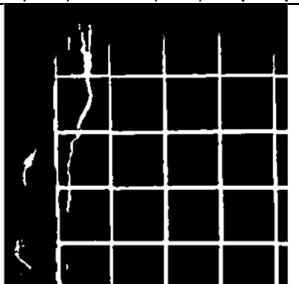
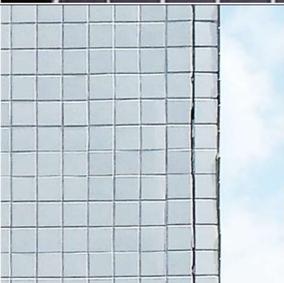
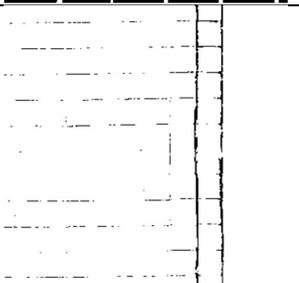
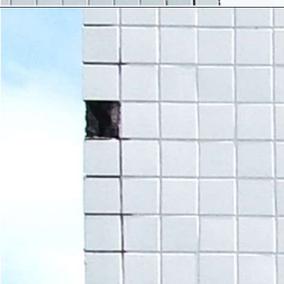
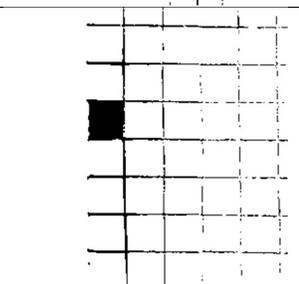
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
41	Fachada 2	Mofo		
42	Fachada 2	Eflorescência		
43	Fachada 2	Eflorescência		
44	Fachada 2	Trinca		
45	Fachada 2	Mofo		

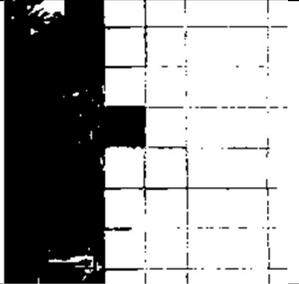
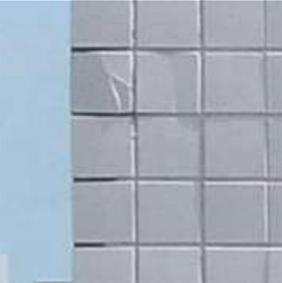
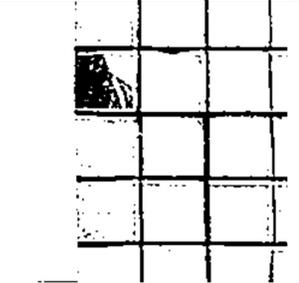
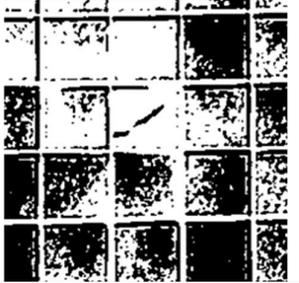
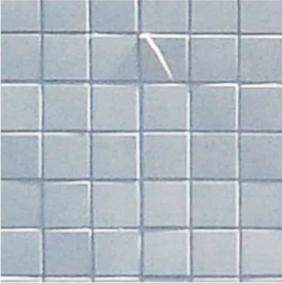
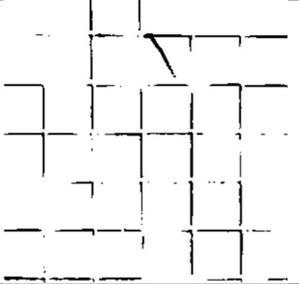
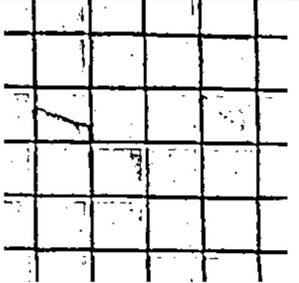
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
46	Fachada 2	Eflorescência		
47	Fachada 2	Eflorescência		
48	Fachada 2	Mofa		
49	Fachada 2	Eflorescência		
50	Fachada 2	Mofa		

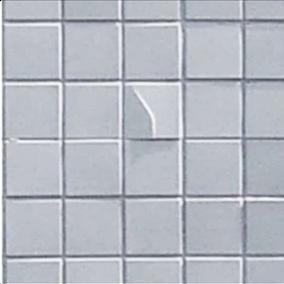
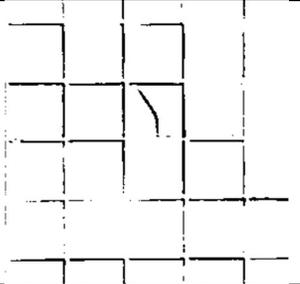
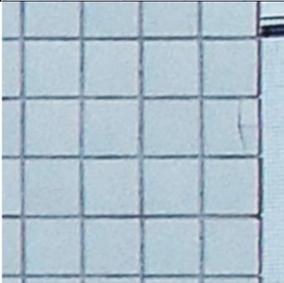
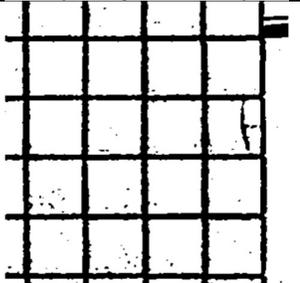
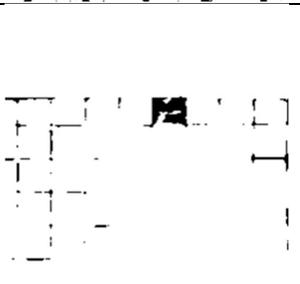
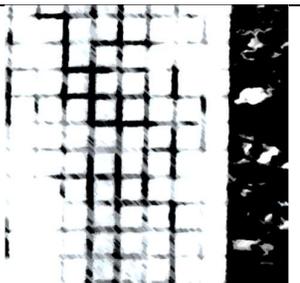
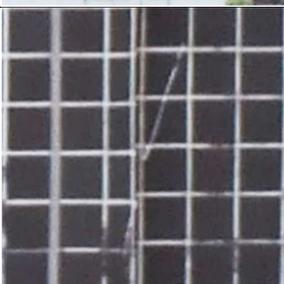
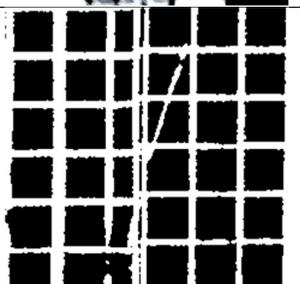
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
51	Fachada 2	Mofa		
52	Fachada 2	Fissura		
53	Fachada 2	Fissura		
54	Fachada 2	Eflorescência		
55	Fachada 2	Fissura		

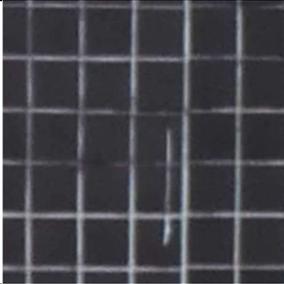
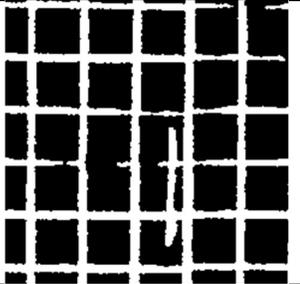
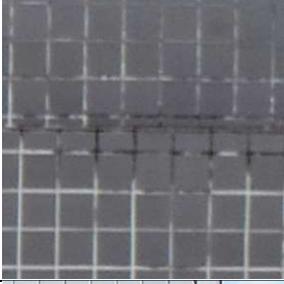
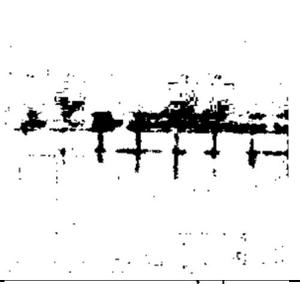
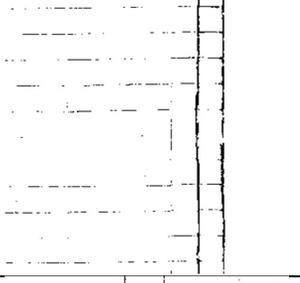
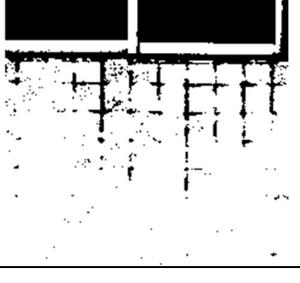
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
56	Fachada 2	Fissura		
57	Fachada 2	Eflorescência		
58	Fachada 2	Mofa		
59	Fachada 2	Fissura		
60	Fachada 2	Fissura		

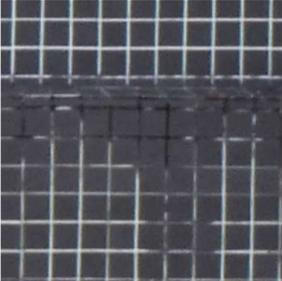
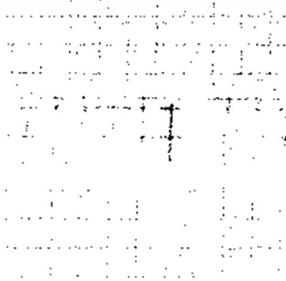
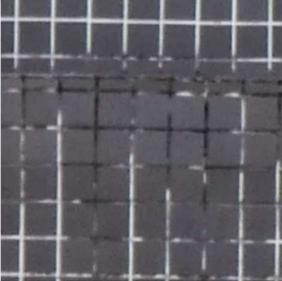
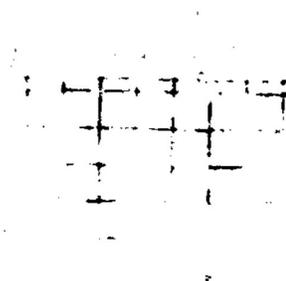
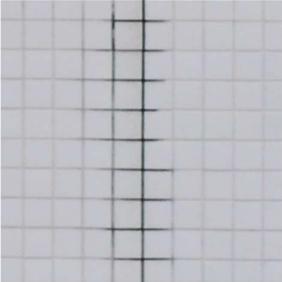
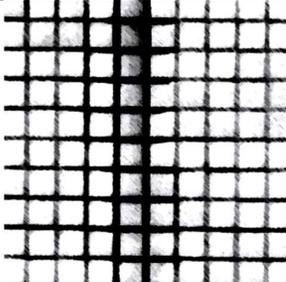
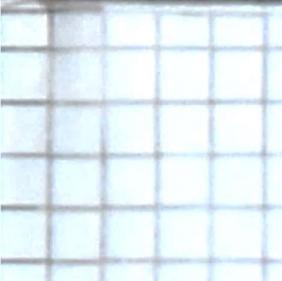
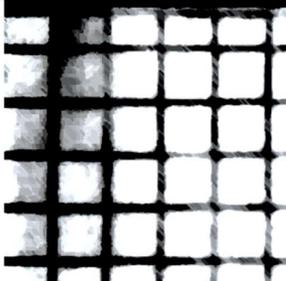
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
61	Fachada 2	Mofa		
62	Fachada 2	Fissura		
63	Fachada 2	Fissura		
64	Fachada 2	Mofa		
65	Fachada 2	Eflorescência		

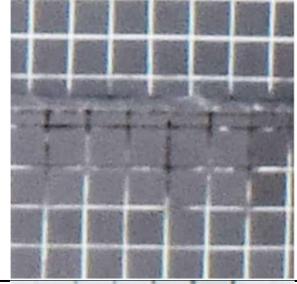
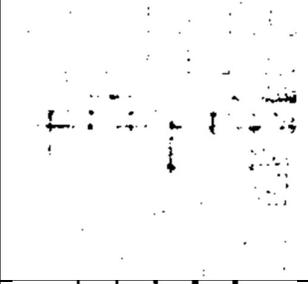
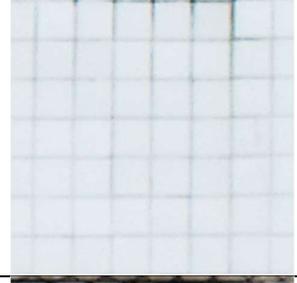
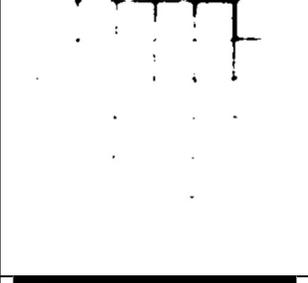
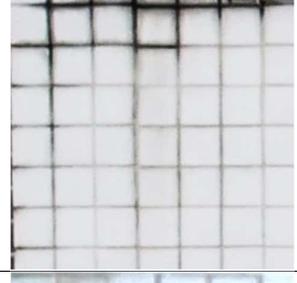
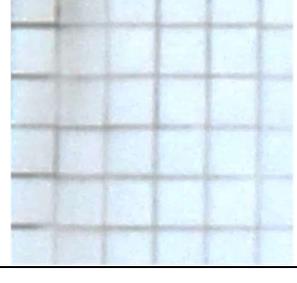
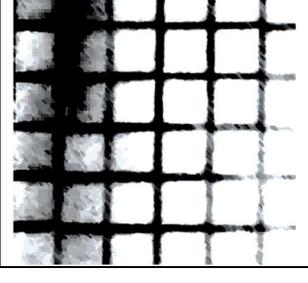
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
66	Fachada 3	Mofo		
67	Fachada 3	Eflorescência		
68	Fachada 3	Eflorescência		
69	Fachada 3	Trinca		
70	Fachada 3	Destacamento		

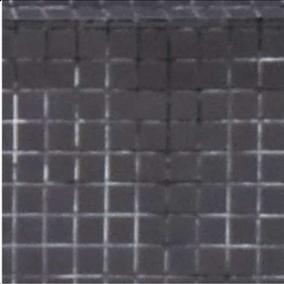
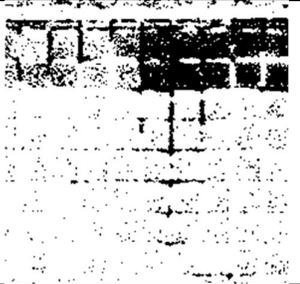
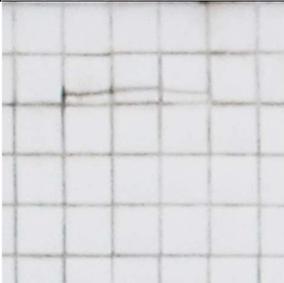
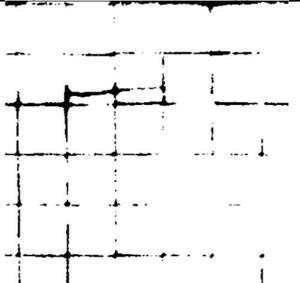
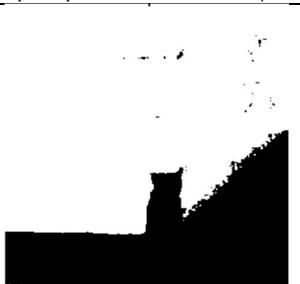
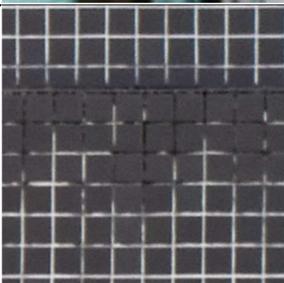
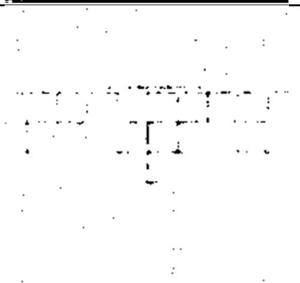
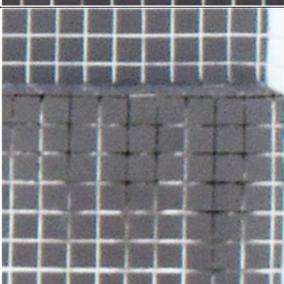
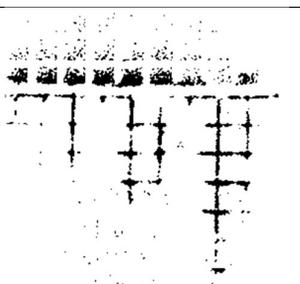
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
71	Fachada 3	Destacamento		
72	Fachada 3	Fissura		
73	Fachada 3	Fissura		
74	Fachada 3	Fissura		
75	Fachada 3	Fissura		

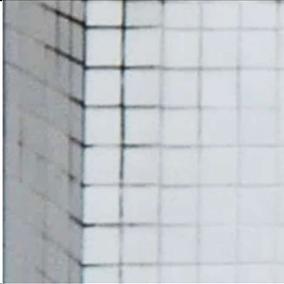
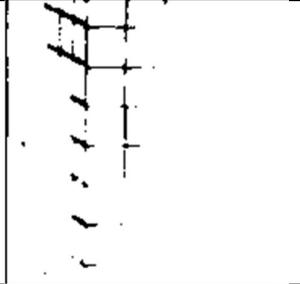
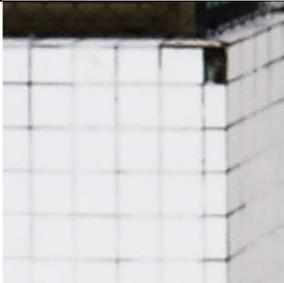
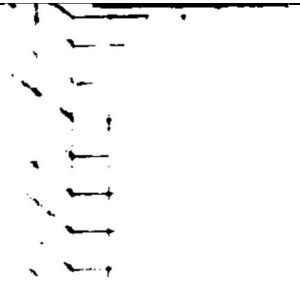
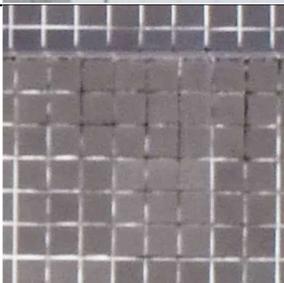
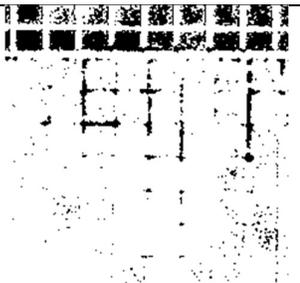
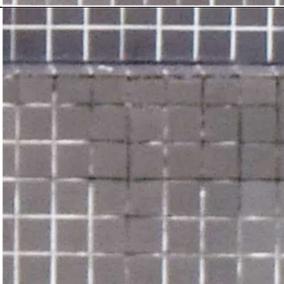
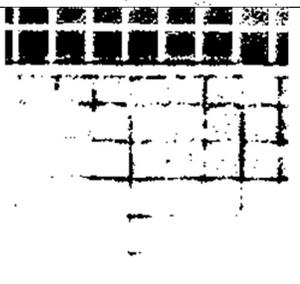
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
76	Fachada 3	Fissura		
77	Fachada 3	Fissura		
78	Fachada 4	Destacamento		
79	Fachada 4	Eflorescência		
80	Fachada 4	Fissura		

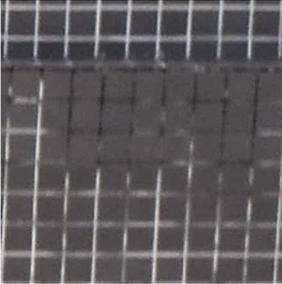
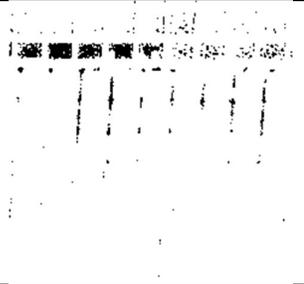
Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
81	Fachada 4	Fissura		
82	Fachada 4	Mofo		
83	Fachada 3	Trinca		
84	Fachada 3	Destacamento		
85	Fachada 4	Mofo		

Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
86	Fachada 4	Mofos		
87	Fachada 4	Mofos		
88	Fachada 4	Mofos		
89	Fachada 4	Eflorescência		
90	Fachada 4	Eflorescência		

Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
91	Fachada 4	Destacamento		
92	Fachada 4	Mofo		
93	Fachada 4	Mofo		
94	Fachada 4	Mofo		
95	Fachada 4	Eflorescência		

Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
96	Fachada 4	Mofo		
97	Fachada 4	Fissura		
98	Fachada 4	Destacamento		
99	Fachada 4	Mofo		
100	Fachada 4	Mofo		

Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
101	Fachada 4	Mofo		
102	Fachada 4	Destacamento		
103	Fachada 4	Mofo		
104	Fachada 4	Mofo		
105	Fachada 4	Mofo		

Manifestações patológicas estudo de caso C (Continuação)				
N	Fachada	Tipo de manifestação patológica	Imagem	Imagem Binarizada
106	Fachada 4	Mofo		
107	Fachada 4	Mofo		