



**SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE DANOS PARA O  
ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

**MELISSA LORRANE FRAZÃO LOPES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE DANOS PARA O  
ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

**MELISSA LORRANE FRAZÃO LOPES**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

**COORIENTADOR: LENILDO SANTOS DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**BRASÍLIA/DF – JULHO/2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE DANOS PARA O ESTUDO DA  
DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

**MELISSA LORRANE FRAZÃO LOPES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR:

---

Prof. Elton Bauer, Dr. (ENC - UnB)  
(Orientador)

---

Prof. Lenildo Santos da Silva, Dr. (ENC - UnB)  
(Coorientador)

---

Profa. Vanda Alice Garcia Zanoni, Dra. (FAU - UnB)  
(Examinadora interna)

---

Prof. Francisco Gabriel Santos Silva, Dr. (UFBA)  
(Examinador externo)

BRASÍLIA/DF – JULHO/2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

LOPES, MELISSA LORRANE FRAZÃO

Sistematização do mapeamento de danos para o estudo da degradação de fachadas. [Distrito Federal] 2023.

XXIII, 138p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre em Estruturas e Construção Civil, 2023).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1. Degradação          | 2. Fachada          |
| 3. Anomalia            | 4. Inspeção         |
| 5. Mapeamento de danos | 6. Drone            |
| I. ENC/FT/UnB          | II. Título (Mestre) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LOPES, M. L. F. (2023). Sistematização do mapeamento de danos para o estudo da degradação de fachadas. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 00A/23, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 138p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Melissa Lorrane Frazão Lopes

TÍTULO: Sistematização do mapeamento de danos para o estudo da degradação de fachadas.

GRAU: Mestre ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito.

---

Melissa Lorrane Frazão Lopes

UnB, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte

70.904-111 Brasília/DF – Brasil

melissafraza08@gmail.com

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este estudo à minha mãe, Sheila.

*“It is not our differences that divide us.  
It is our inability to recognize, accept, and celebrate those differences.”*

**Audre Lorde**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e amigos por todo amor e carinho. À minha mãe, Sheila, pelo esforço para me proporcionar a melhor educação possível e por todo incentivo e amor durante essa jornada. Ao meu esposo, Ramon, pelo apoio, amor e compreensão diários. À minha irmã, Isadora, à minha avó, Edite, e ao meu pai, Valdomiro, pelo carinho e motivação nos meus estudos. Aos meus tios, Júnior e Neto, à minha prima, Lays, e às minhas amigas, Germana e Letícia pelo apoio e pelas palavras de incentivo. Sem o apoio de vocês, eu não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Professor Elton Bauer, e ao meu coorientador, Professor Lenildo Silva, pela dedicação, disposição, apoio e pelo valioso conhecimento compartilhado, essencial para atingir o resultado final desta pesquisa. Agradeço ainda ao Professor Lenildo pela disposição em compartilhar seu conhecimento na utilização do *software* Agisoft Metashape e pelo custeio dos levantamentos fotográficos, realizados por meio do projeto de pesquisa Monitoramento, Análise Estrutural e Verificação de Segurança e Desempenho do Edifício do INCRA Utilizando Dados de Sensores Diversos e Inteligência Artificial com Uso de Deep Learning, executado em uma parceria entre a UnB e o INCRA. Eles foram indispensáveis para o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), em especial aos professores João Henrique Rêgo, Jéssica Souza, Cláudio Pereira, Eugênia Fonseca, Michele Carvalho, Valdirene Capuzzo, e à professora do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (PPG-FAU), Vanda Zanoni, por todo o aprendizado proporcionado.

Aos colegas do PECC, em especial ao Maykon, Ana Luiza, Vitor, Matheus, Thália e Tatiana, pelas discussões acadêmicas e por estarem sempre dispostos a ajudar. Vocês foram essenciais nessa jornada.

À Universidade de Brasília, ao PECC e ao Projeto Degradação Mensuração e Modelação (DMM<sub>Project</sub>) por me proporcionar a oportunidade de realizar este mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo financeiro por meio de bolsa de estudo.

## **RESUMO**

### **SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE DANOS PARA O ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

As fachadas estão diretamente expostas aos agentes de degradação externos, em especial, os climáticos. A atuação dos agentes, por meio de mecanismos de degradação, leva à deterioração da fachada ao longo de sua vida útil. A inspeção e o mapeamento de danos são ferramentas imprescindíveis para a obtenção de dados para o estudo da degradação de fachadas, permitindo a identificação, localização e quantificação das anomalias existentes. A identificação de anomalias não é simples, especialmente quando o único meio utilizado é a análise de imagens ou ortomosaicos da fachada, sendo necessária a existência de procedimentos que auxiliem na detecção. A compreensão e o aperfeiçoamento das técnicas de inspeção e de mapeamento de danos são fundamentais para facilitar e aumentar a confiabilidade desses processos. Diante disso, o objetivo deste estudo é apresentar uma sistematização para a identificação de anomalias e para o mapeamento de danos de fachadas com revestimento em argamassa no Distrito Federal, incluindo o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) na inspeção. O levantamento fotográfico das fachadas estudadas é realizado utilizando RPA e a obtenção de ortomosaicos é realizada pelas técnicas de ortogonalização e processamento digital de imagens, para comparação. Para a identificação de anomalias pela análise dos ortomosaicos, é proposta uma categorização por tipologia, em que os critérios posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem e elementos próximos são utilizados para caracterizar diferentes tipos de danos e auxiliar na sua identificação. Também é apresentada uma padronização do mapeamento de danos, indicando um nível de aproximação a ser utilizado para a identificação de anomalias. O uso de RPA permite a captura de imagens próximas e perpendiculares de toda a fachada, possibilitando a obtenção de ortomosaicos de qualidade satisfatória para a identificação de anomalias, por ambas as metodologias utilizadas. Os critérios definidos se mostram eficientes para a caracterização dos danos e a categorização por tipologia proposta se mostra eficaz para a identificação precisa dos danos nos ortomosaicos das amostras de fachadas investigadas. A padronização do mapeamento de danos uniformiza o processo, contribuindo para a obtenção de resultados mais consistentes. A sistematização proposta conduz para uma maior precisão e confiabilidade para o mapeamento, colaborando para o estudo da degradação de fachadas.

**Palavras-chave:** Degradação, Fachada, Anomalia, Inspeção, Mapeamento de danos, Drone.

## **ABSTRACT**

### **DAMAGE MAPPING SYSTEMATIZATION FOR THE STUDY OF FAÇADE DEGRADATION**

Façades are directly exposed to external degradation agents, in particular, climatic ones. The action of degradation agents, through degradation mechanisms, leads to the deterioration of the façade throughout its useful life. Inspection and damage mapping are essential tools for obtaining data for the study of façade degradation, allowing the identification, location, and quantification of existing anomalies. Anomaly identification is not simple, especially when the only means used is the analysis of images or orthomosaics of the façade, requiring the existence of procedures that help in the detection. Understanding and improving inspection and damage mapping techniques are essential to facilitate and increase the reliability of these processes. Therefore, the purpose of this study is to present a systematization for anomaly identification and damage mapping of mortar coating façades in the Federal District, including the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) in the inspection. The photographic survey of the façades studied is carried out using RPA and orthomosaics are obtained using orthogonalization and digital image processing techniques, for comparison. For anomaly identification through the analysis of orthomosaics, a categorization by typology is proposed, in which the criteria position, configuration, grouping, occurrence, origin, and close elements are used to characterize different types of anomalies and help in their identification. A damage mapping standardization is also presented, indicating a level of approximation to be used for anomaly identification. The RPA use allows the capture of close and perpendicular images along the entire façade, making it possible to obtain orthomosaics of satisfactory quality for anomaly identification, using both methodologies used. The defined criteria are efficient for the characterization of the anomalies and the categorization by typology proposed is efficient for the precise damage identification in the orthomosaics of the investigated façades samples. The standardization of damage mapping uniforms the process, helping to obtain more consistent results. The proposed systematization leads to greater accuracy and reliability for mapping, which collaborates with the study of façade degradation.

**Key-words:** Degradation, Façade, Anomaly, Inspection, Damage mapping, Drone.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação dos agentes de degradação quanto à natureza.....	7
Figura 2.2 – Classificação dos agentes de degradação quanto à origem.....	8
Figura 2.3 – Classificação dos agentes de degradação quanto à procedência.....	8
Figura 2.4 – Agentes, mecanismos de degradação e ocorrência de anomalias.....	9
Figura 2.5 – Ilustração de descolamento por retração da argamassa.....	11
Figura 2.6 – Empolamento por contração da base.....	12
Figura 2.7 - Ilustrações de fissuras a) por retração da argamassa e b) após o descolamento por retração.....	13
Figura 2.8 – Exemplos de manchas em revestimentos de argamassa.....	15
Figura 2.9 – Faixa de crescimento de fungos emboloradores em função da temperatura e da umidade relativa.....	15
Figura 2.10 – Exemplo da divisão da fachada em zonas.....	19
Figura 3.1 – Exemplo de (a) captura de fotografia a partir do solo, obtendo (b) imagem com alta inclinação.....	21
Figura 3.2 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas.....	23
Figura 3.3 – Sequência de captura de imagens em direção paralela à maior dimensão da fachada.....	24
Figura 3.4 – Imagem original, com suas inclinações, e imagem retificada.....	26
Figura 3.5 – Exemplo de processamento digital de imagens: (a) nuvem de pontos esparsa; (b) nuvem de pontos densa (c) modelo tridimensional de malhas triangulares; (d) modelo texturizado; (e) ortomosaico de uma das fachadas.....	27
Figura 3.6 – Finalidades do mapa de danos.....	28
Figura 3.7 – Mapa de danos do Palácio Itamaraty, Brasília – DF.....	29
Figura 3.8 – Mapeamento de fachada: (a) imagem digital da amostra; (b) ortogonalização; (c) mapa de danos; (d) sobreposição de malha e separação por zonas da fachada.....	30
Figura 3.9 – Divisão da fachada em amostras.....	31
Figura 3.10 – Divisão em zonas.....	32
Figura 4.1 – Estrutura da metodologia.....	34
Figura 4.2 – Exemplos de fachada: (a) com alto detalhamento; (b) com médio detalhamento; (c) com baixo detalhamento.....	37
Figura 4.3 – Amostras selecionadas no Edifício 1.....	38
Figura 4.4 – Amostras selecionadas no Edifício 2.....	38

Figura 4.5 – Amostras selecionadas no Edifício 3. ....	39
Figura 4.6 – RPA utilizada no levantamento fotográfico. ....	39
Figura 4.7 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas. ....	41
Figura 4.8 – Definição das linhas de voo, com distância de 2,39 m. ....	41
Figura 4.9 – Exemplo de demarcação dos locais das linhas de voo utilizando cones. ....	42
Figura 4.10 – Ilustração do levantamento realizado. ....	42
Figura 4.11 – Aproximação definida para a identificação de anomalias (altura de um pavimento e largura correspondente). ....	51
Figura 4.12 – Exemplo de sobreposição de malha ao mapa de danos. ....	52
Figura 5.1 – Exemplos de imagens capturadas com RPA: (a) Edifício 1; (b) Edifício 2; (c) Edifício 3. ....	56
Figura 5.2 – Ortomosaicos da Amostra A1.2, obtidos por: (a) ortogonalização; (b) processamento digital de imagens. ....	59
Figura 5.3 – Exemplificação da qualidade e do nível de detalhe dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização (Amostra A2.1). ....	60
Figura 5.4 – Exemplo de linhas de colagem nos ortomosaicos obtidos por ortogonalização (Amostra A1.1). ....	61
Figura 5.5 – Exemplificação da qualidade e do nível de detalhe dos ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens (Amostra A2.1). ....	62
Figura 5.6 – Exemplos de falhas nos ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens: (a) Amostra A1.6; (b) Amostra A3.2. ....	63
Figura 5.7 – $C_{SA}\%$ de cada critério para cada tipo de anomalia estrutural. ....	67
Figura 5.8 – Relevâncias relativas das características para anomalias estruturais. ....	69
Figura 5.9 – $C_{SA}\%$ de cada critério para cada tipo de anomalia superficial. ....	71
Figura 5.10 – Relevâncias relativas das características para anomalias superficiais. ....	72
Figura 5.11 – Sequência de verificação dos critérios para a identificação de anomalias. ....	76
Figura 5.12 – Mapa de danos da Amostra A1.1. ....	78
Figura 5.13 – Mapa de danos da Amostra A1.2. ....	79
Figura 5.14 – Mapa de danos da Amostra A1.3. ....	80
Figura 5.15 – Mapa de danos da Amostra A1.4. ....	81
Figura 5.16 – Mapa de danos da Amostra A1.5. ....	82
Figura 5.17 – Mapa de danos da Amostra A1.6. ....	83
Figura 5.18 – Mapa de danos da Amostra A2.1. ....	84

Figura 5.19 – Mapa de danos da Amostra A2.2. ....	85
Figura 5.20 – Mapa de danos da Amostra A2.3. ....	86
Figura 5.21 – Mapa de danos da Amostra A3.1. ....	87
Figura 5.22 – Mapa de danos da Amostra A3.2. ....	88
Figura 5.23 – Mapa de danos da Amostra A3.3. ....	89
Figura 5.24 – Mapa de danos da Amostra A3.4. ....	90
Figura 5.25 – Exemplos de amostras de fachada: (a) com alto detalhamento (A1.3); (b) com médio detalhamento (A3.1); (c) com baixo detalhamento (A2.2).....	92
Figura 5.26 – FD por amostra de fachada. ....	95
Figura 5.27 – $FD_a$ médio para os grupos de anomalias. ....	95
Figura 5.28 – $IFr_{(z)}$ médio para cada zona de fachada. ....	95
Figura 5.29 – Características relacionadas a cada critério.....	97
Figura A.1 – Etapas da ortogonalização utilizando Adobe Photoshop: (a) linhas criadas para facilitar o posicionamento das imagens parciais; (b) corte e ortogonalização das imagens; (c) montagem do ortomosaico da amostra. ....	114
Figura B.1 – Etapas do processamento digital de imagens para a obtenção de ortomosaicos...	115
Figura B.2 – Exemplo de processamento no Agisoft Metashape, com destaque para as ferramentas utilizadas no menu <i>Workflow</i> .....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Principais agentes e mecanismos de degradação envolvidos na ocorrência de anomalias em revestimentos de argamassa. ....	10
Quadro 2.2 – Indicadores de degradação propostos pelo MMD. ....	19
Quadro 3.1 – Exemplos de tipos de RPAs utilizados para inspeções de fachadas. ....	25
Quadro 4.1 – Edifícios inspecionados. ....	35
Quadro 4.2 – Critérios para a divisão da fachada em amostras. ....	36
Quadro 4.3 – Características das amostras selecionadas para o estudo. ....	36
Quadro 4.4 – Especificações da RPA utilizada. ....	40
Quadro 4.5 – Parâmetros para a captura de imagens com RPA. ....	40
Quadro 4.6 – Tipos de anomalias em revestimentos de argamassa. ....	44
Quadro 4.7 – Ilustrações dos tipos de anomalias em revestimentos de argamassa. ....	45
Quadro 4.8 – Exemplo genérico do quadro com o levantamento dos mecanismos e tipologia das anomalias analisadas. ....	48
Quadro 4.9 – Descrição das diferentes zonas da fachada. ....	52
Quadro 5.1 – Facilidades e dificuldades observadas na inspeção com RPA. ....	55
Quadro 5.2 – Dificuldade em controlar a trajetória da RPA de acordo com as características da amostra. ....	58
Quadro 5.3 – Comparação entre metodologias de obtenção de ortomosaicos. ....	64
Quadro 5.4 – Variabilidades relacionadas à altura do edifício. ....	65
Quadro 5.5 – Variabilidades relacionadas ao nível de detalhamento da fachada. ....	65
Quadro 5.6 – Categorização por tipologia para a identificação de anomalias. ....	73
Quadro 5.7 – Anomalias identificadas em cada amostra de fachada investigada. ....	77
Quadro 5.8 – Variabilidades no processo de mapeamento de danos. ....	91
Quadro 5.9 – Resultados observados em relação aos procedimentos adotados no mapeamento. ....	93
Quadro B.1 – Parâmetros utilizados em cada etapa do processamento. ....	116
Quadro C.1 – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização. ....	118
Quadro D.1 – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens. ....	122
Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa. ....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Exemplo genérico da elaboração das matrizes de correlação.....	49
Tabela 5.1 – Dados do levantamento fotográfico realizado para as amostras investigadas. ....	57
Tabela 5.2 – Resolução dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização. ....	60
Tabela 5.3 – Resultados do processamento digital de imagens.....	62
Tabela 5.4 – Matriz de correlação entre anomalias estruturais e características físicas, para revestimentos em argamassa. ....	66
Tabela 5.5 – Matriz de correlação entre anomalias superficiais e características físicas, para revestimentos em argamassa. ....	70
Tabela 5.6 – Indicadores de degradação calculados ( $FD$ , $FD_a$ e $IFr_{(z)}$ ). ....	94
Tabela B.1 – Especificações dos computadores utilizados. ....	116

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIações

4K	<i>Ultra high definition (UHD)</i> – ultra alta definição
$A_{an(z)}$	Área degradada da zona z
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AB	Aberturas
$A_{da(n)}$	Área degradada por uma anomalia n
$A_n$	Anomalia n
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AP	Anomalias na pintura
AP01	Anomalias na pintura
$A_t$	Área total da amostra de fachada
$A_{(z)}$	Área da zona z
B	Distância entre tomadas fotográficas
BSI	<i>British Standard Institution</i>
CE	Cantos e extremidades
CMOS	<i>Complementary metal-oxide-semiconductor</i> – semicondutor de óxido metálico complementar
$C_{SA}\%$	Contribuição de determinado critério para a soma total de um determinado tipo de anomalia
DA	Descolamento em revestimento de argamassa
DA01	Descolamento decorrente de retração do revestimento
DA02	Descolamento devido a fissuração e entrada de água
$DMM_{Project}$	Projeto Degradação Mensuração e Modelação
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i> - correspondência estéreo densa
EA	Eflorescência em revestimento de argamassa

EA01	Eflorescência
FA	Fissura em revestimento de argamassa
FA01	Fissuras nos vértices de aberturas
FA02	Fissuras generalizadas em malhas grandes
FA03	Fissuras generalizadas em malhas finas
FA04	Fissuras por sarrafeamento precoce
FA05	Fissuras próximas aos vértices da sacada
FA06	Fissuras horizontais, abaixo de laje/viga (último pavimento)
FA07	Fissuras na platibanda
FA08	Fissuras na interface entre laje/viga e alvenaria
FA09	Fissuras na interface entre pilar e alvenaria.
FA10	Fissuras devido à deformação maior da viga/ laje superior
FA11	Fissuras devido à deformação maior da viga/laje inferior
FA12	Fissuras devido a recalque diferencial
FA13	Fissuras inclinadas em paredes contínuas
FA14	Fissuras horizontais em paredes contínuas
FA15	Fissuras verticais em paredes contínuas
FA16	Fissuras inclinadas devido a sobrecarga pontual
FA17	Fissuras decorrentes da presença de umidade
FD	Fator de danos
FD <sub>a</sub>	Fator de danos da anomalia
FD <sub>AP</sub>	Fator de danos das anomalias na pintura
FD <sub>DA</sub>	Fator de danos da anomalia descolamento
FD <sub>EA</sub>	Fator de danos da anomalia eflorescência
FD <sub>FA</sub>	Fator de danos da anomalia fissura

FD <sub>MA</sub>	Fator de danos da anomalia mancha
FD <sub>PA</sub>	Fator de danos da anomalia pulverulência
FGD	Fator geral de danos
FHD	<i>Full high definition</i> – alta definição total
G <sub>n</sub>	Fator de gravidade da anomalia (1, 2, 3, 4)
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> – Organização Internacional da Aviação Civil
IFr <sub>(z)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona z
IFr <sub>(AB)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona aberturas
IFr <sub>(CE)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona cantos e extremidades
IFr <sub>(PC)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona paredes contínuas
IFr <sub>(TO)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona topo
IFr <sub>(TP)</sub>	Índice de Frequência de Degradação da zona transição de pavimentos
IGr <sub>(z)</sub>	Índice de Gravidade de Degradação da zona z
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KM	Quilômetros
KM/H	Quilômetros por hora
L	Distância à fachada
M	Metro
M <sup>2</sup>	Metro quadrado
MA	Mancha em revestimento de argamassa
MA01	Manchas por acúmulo de água (sujidades ou fungos)
MA02	Manchas na parede contínua (sujidades ou fungos)
MA03	Manchas no topo (sujidades ou fungos)
MA04	Termoforese
MM	Milímetro

MMD	Método de mensuração da degradação
MP	<i>Megapixels</i>
NBR	Norma brasileira
p	Percentual de sobreposição transversal
PC	Paredes contínuas
PECC	Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil
PA	Pulverulência em revestimento de argamassa
PA01	Pulverulência
$p_{jm}$	Peso atribuído para a característica m, referente ao tipo de anomalia j
$p_{ni}$	Peso atribuído para a anomalia n, referente à característica i
R	Relação entre a distância das posições das estações na tomada fotográfica (B) e distância à fachada (L)
R%	Relevância relativa
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)
RGB	<i>Red-Green-Blue</i> – vermelho-verde-azul
$RI_n$	Fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia
$R_m\%$	Relevância relativa da característica m
RPA	<i>Remotely-Piloted Aircraft</i> (Aeronave Remotamente Pilotada)
SA	Soma dos pesos atribuídos a todas as características, para um determinado tipo de anomalia
$SA_n$	Soma dos pesos atribuídos a todas as características, para o tipo de anomalia n
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SC	Soma dos pesos atribuídos a uma determinada característica, para todos os tipos de anomalia
$SC_m$	Soma dos pesos atribuídos à característica m, para todos os tipos de anomalia
ST	Soma total dos pesos atribuídos todas as características

TIN	<i>Triangular Irregular Network</i> – malhas triangulares
Tan	Tangente do ângulo
TO	Topo
TP	Transição de pavimentos
UnB	Universidade de Brasília
$\alpha$	Ângulo de abertura da lente da câmera
$\Sigma$	Somatório
$\Sigma G_{\text{máx}}$	Somatório dos fatores de gravidade ( $G_n$ ) equivalentes ao nível da pior condição
$\Sigma p_c$	Soma dos pesos atribuídos às características do critério, para um determinado tipo de anomalia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	1
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	2
1.3	OBJETIVOS	4
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	4
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
<b>2</b>	<b>DEGRADAÇÃO DE FACHADAS</b>	<b>6</b>
2.1	AGENTES DE DEGRADAÇÃO	6
2.2	MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO	9
2.2.1	<i>Descolamento</i>	11
2.2.2	<i>Fissura</i>	12
2.2.3	<i>Eflorescência</i>	13
2.2.4	<i>Mancha</i>	14
2.2.5	<i>Pulverulência</i>	16
2.2.6	<i>Anomalias na pintura</i>	16
2.3	MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO	17
<b>3</b>	<b>INSPEÇÃO E MAPEAMENTO DE DANOS</b>	<b>20</b>
3.1	INSPEÇÃO DE FACHADAS	20
3.1.1	<i>Inspeção de campo</i>	20
3.1.2	<i>Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)</i>	22
3.2	TRATAMENTO DE IMAGENS	25
3.2.1	<i>Ortogonalização</i>	26
3.2.2	<i>Processamento digital de imagens</i>	27
3.3	MAPEAMENTO DE DANOS	28
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>33</b>
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	34
4.1.1	<i>Seleção de edificações e levantamento de informações</i>	34
4.1.2	<i>Seleção de amostras de fachada</i>	35

4.1.3	<i>Levantamento fotográfico com RPA</i> .....	39
<b>4.2</b>	<b>TRATAMENTO DE DADOS</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3</b>	<b>ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS DE TIPOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS – CATEGORIZAÇÃO POR TIPOLOGIA</b> .....	<b>43</b>
4.3.1	<i>Definição de tipos de anomalias</i> .....	43
4.3.2	<i>Categorização por tipologia</i> .....	47
<b>4.4</b>	<b>MAPEAMENTO DE DANOS</b> .....	<b>50</b>
<b>4.5</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO – CÁLCULO DE INDICADORES</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE RPA PARA A INSPEÇÃO DE FACHADAS</b> .....	<b>54</b>
5.1.1	<i>Facilidades e dificuldades observadas na inspeção com RPA</i> .....	54
5.1.2	<i>Variabilidades na inspeção com RPA de acordo com as características das amostras</i> .....	58
<b>5.2</b>	<b>ORTOMOSAICOS</b> .....	<b>58</b>
5.2.1	<i>Comparação dos métodos em relação ao processo de obtenção e à qualidade dos ortomosaicos</i> .....	59
5.2.2	<i>Variabilidades na obtenção dos ortomosaicos em relação às características das amostras</i> .....	64
<b>5.3</b>	<b>CRITÉRIOS DE TIPOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS PELA ANÁLISE DOS ORTOMOSAICOS</b> .....	<b>65</b>
5.3.1	<i>Matriz Anomalias estruturais x Critérios de tipologia</i> .....	65
5.3.2	<i>Matriz Anomalias superficiais x Critérios de tipologia</i> .....	69
5.3.3	<i>Categorização por tipologia</i> .....	72
<b>5.4</b>	<b>MAPEAMENTO DE DANOS</b> .....	<b>76</b>
5.4.1	<i>Mapas de danos</i> .....	77
5.4.2	<i>Variabilidades no mapeamento quanto às características das amostras</i> .....	91
5.4.3	<i>Considerações sobre o processo de mapeamento</i> .....	93
<b>5.5</b>	<b>INDICADORES DE DEGRADAÇÃO</b> .....	<b>93</b>
<b>5.6</b>	<b>SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>96</b>

<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>100</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	100
6.2	SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	102
	REFERÊNCIAS... ..	103
	APÊNDICE A – Ortogonalização de imagens utilizando Adope Photoshop .....	113
	APÊNDICE B – Processamento digital de imagens utilizando Agisoft Metashape .....	115
	APÊNDICE C – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização .....	118
	APÊNDICE D – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens .....	122
	APÊNDICE E – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa .....	126

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A envoltória das edificações, composta por fachadas, coberturas e outros elementos, faz a separação entre os ambientes interno e externo, estando diretamente exposta aos agentes externos de degradação, que atuam na deterioração dos componentes da envoltória ao longo de sua vida útil (CÓIAS, 2009). As fachadas, como parte da envoltória, têm como uma de suas funções proteger a edificação da atuação dos agentes de degradação, contribuindo para seu desempenho e durabilidade (SILVA; VICENTE, 2013).

A degradação pode ser compreendida como o processo pelo qual uma ação ou um agente causa deterioração de uma ou mais propriedades de um material (BS ISO 15686-2, 2012), como permeabilidade, aderência, elasticidade, entre outras. A degradação pode resultar da ação simultânea de diversos agentes, de diferentes naturezas, origens e procedências. Os agentes climáticos, como radiação solar, chuva dirigida, temperatura e ventos, são os principais responsáveis pela degradação de fachadas (CARRETERO-AYUSO *et al.*, 2021; BS ISO 15686-1, 2011; SÁ *et al.*, 2015). Os mecanismos de degradação são os processos pelos quais os agentes atuam nos componentes de uma edificação, causando alterações químicas, físicas, biológicas ou mecânicas em suas propriedades (FLORES-COLEN, 2009; SANTOS, 2018).

No estudo da vida útil de fachadas, a quantificação da degradação é indispensável e permite analisar o comportamento da degradação ao longo do tempo (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020). Para isso, se faz necessário a realização de inspeções e o mapeamento de danos.

A inspeção permite verificar a situação de uma fachada em um determinado momento, relacionando diretamente o estado dos componentes, a exposição ambiental e as condições de uso da edificação (BS ISO 15686-2, 2012). Uma limitação encontrada nas inspeções de fachadas é a dificuldade de acesso em edifícios altos, o que pode limitar a identificação de anomalias nas partes mais altas da edificação (FLORES-COLEN, 2009; MOURA JÚNIOR; PÓVOAS, 2022; SOUSA; SOUSA; MAUÉS, 2022).

O mapeamento de danos se constitui de todo o processo produção de dados para a elaboração do mapa de danos (TINOCO, 2009). Os mapas se caracterizam pela representação e localização das anomalias identificadas na fachada, sendo uma ferramenta relevante para a análise dos danos presentes e para a quantificação e avaliação da degradação da fachada em um momento específico (CARVALHO; OLIVEIRA; ZANONI, 2020; TIRELLO; CORREA, 2012).

Para otimizar o processo de inspeção e de mapeamento de danos, tem sido discutido o uso de tecnologias, como a fotogrametria digital e a Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA), também conhecida como drone. A RPA facilita a inspeção de edifícios altos, permitindo a captura de imagens próximas e perpendiculares ao longo de toda a fachada, podendo também reduzir o tempo de levantamento (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; FALORCA; MIRALDES; LANZINHA, 2021). A associação do uso de RPA com *softwares* de fotogrametria digital possibilita a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos, que podem auxiliar na elaboração de mapas de danos das fachadas (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; DRAGANIC *et al.*, 2022; MELO JÚNIOR, 2016).

Diversos autores (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020; MOTA, 2021; PIAZZAROLLO, 2019; SANTOS, 2018; SILVA, 2014; SOUZA, 2016, 2019) utilizam o mapeamento de danos como etapa essencial do estudo da degradação de fachadas, possibilitando a quantificação da deterioração observada. Porém, nenhum dos estudos estabelece procedimentos sistematizados para a detecção de anomalias. A identificação de anomalias consiste em uma atividade complexa, principalmente quando é realizada pela análise de imagens, sem o auxílio de equipamentos e ensaios, sendo necessário o conhecimento das anomalias e o entendimento da interação dos materiais com os agentes e mecanismos de degradação.

## **1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA**

As exigências dos usuários têm levado à demanda por sistemas construtivos mais duráveis, que garantam o desempenho adequado ao longo de toda sua vida útil (ABNT NBR 15575-1, 2021). Para compreender o comportamento dos sistemas ao longo do tempo e contribuir para uma maior durabilidade das construções, o estudo da degradação é essencial. A compreensão da degradação das fachadas, em especial, é de extrema relevância, uma vez que estas auxiliam na proteção dos demais sistemas da ação dos agentes de degradação.

No estudo da degradação, são imprescindíveis a realização de inspeções e o mapeamento de danos, que possibilitam a identificação de anomalias e sua localização. Com isso, se observa a necessidade de compreensão e de aperfeiçoamento das técnicas de inspeção e de mapeamento de danos, visando facilitar esses processos e torná-los cada vez mais confiáveis. Por isso, se torna importante a definição de critérios e procedimentos para a sistematização dessas atividades, além do estudo da aplicação de novas tecnologias e ferramentas, como é o caso do presente estudo.

Considerando a importância e a necessidade de pesquisas relativas à degradação de fachadas, diversos estudos sobre o tema são realizados dentro do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC - UnB). Dentre estes, destacam-se os estudos abordados a seguir.

Silva (2014) propõe uma sistematização do processo de mapeamento e quantificação das anomalias em revestimentos cerâmicos, estabelecendo o comportamento da degradação em função da idade, orientação, região e altura das fachadas.

Souza (2016) consolida o Método de Mensuração da Degradação (MMD), utilizando o mapeamento de danos e as curvas de degradação para estudar e mensurar a degradação de fachadas em revestimento cerâmico e verificando seu comportamento em função da idade, da exposição aos agentes climáticos (orientação) e do elemento de arquitetura.

Santos (2017) apresenta uma metodologia de catalogação de anomalias, identificando suas principais tipificações, regiões de incidência e mecanismos de ocorrência, contribuindo para o estudo da degradação de fachadas.

Pavón (2017) define critérios e padrões de comportamento para a avaliação de descolamentos em fachadas com revestimentos cerâmicos utilizando termografia de infravermelho, baseados em parâmetros termográficos (Delta-T) e parâmetros relativos ao fluxo de calor.

Santos (2018) propõe uma metodologia para quantificar a degradação de fachadas com revestimento em argamassa, baseada no MMD, a partir da realização de inspeções e do mapeamento de danos, sendo também apresentada a influência da idade e da orientação no comportamento da degradação.

Piazzarollo (2019), utilizando o MMD, investiga a evolução e a gravidade da degradação nas zonas de fachadas com revestimento cerâmico, correlacionando-as à orientação, tipo de elemento construtivo e idade.

Souza (2019) apresenta modelos de estimativa de vida útil que ponderam sobre a influência dos fatores condicionantes de degradação de revestimentos cerâmicos de fachada, obtidos pela aplicação do MMD e da definição do limite máximo aceitável de degradação.

Aidar (2019) define critérios de inspeção e análise de investigações termográficas em fachadas com revestimento cerâmico, a partir da simulação higrotérmica e do uso de termografia de infravermelho passiva, sendo realizada uma análise qualitativa e quantitativa e a definição de critérios relativos ao contraste termográfico das anomalias.

Milhomem (2019) define critérios e padrões de comportamento para a identificação de fissuras utilizando termografia de infravermelho, sendo aplicada a termografia ativa para mensurar o grau de dano das fissuras em protótipos de revestimento em argamassa.

Mota (2021) utiliza o MMD para investigar a iniciação e a propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa nas diferentes zonas e orientações, identificando os mecanismos que atuam no surgimento e na propagação das anomalias.

Andrade (2022) propõe a modelação da degradação de fachadas com revestimento cerâmico tendo como parâmetros as variáveis de comportamento obtidas com a aplicação de simulação higrótérmica, permitindo determinar o fim da vida útil das fachadas.

Lucenas (2022) define critérios para a aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada, permitindo identificar essa anomalia com maior precisão na inspeção de edifícios.

O presente estudo se insere na linha de pesquisa intitulada Desempenho, Vida Útil, Degradação e Patologia no Ambiente Construído e no projeto intitulado Degradação, Mensuração e Modelação (DMM<sub>Project</sub>), ambos do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC - UnB). Nesse contexto, esta pesquisa visa contribuir com os estudos de degradação de fachadas, apresentando critérios e procedimentos para facilitar a identificação de anomalias e o mapeamento de danos e contribuir para a inclusão do uso de RPA na inspeção de fachadas em futuras pesquisas.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste estudo é propor uma sistematização para a identificação de anomalias e para o mapeamento de danos de fachadas com revestimento em argamassa no Distrito Federal, incluindo o uso de Aeronave Remotamente Pilotada na inspeção.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos da presente pesquisa são:

- Analisar o uso de Aeronave Remotamente Pilotada para o levantamento fotográfico de fachadas.

- Comparar a obtenção de ortomosaicos das fachadas, utilizando os *softwares* Adobe Photoshop (ortogonalização) e Agisoft Metashape (processamento digital de imagens), quanto à qualidade dos ortomosaicos e às facilidades e dificuldades dos processos.
- Elaborar critérios de tipologia para identificar as anomalias nos ortomosaicos obtidos, para realizar o mapeamento de danos.
- Apresentar uma rotina para a elaboração dos mapas de danos, visando a padronização desse processo.
- Identificar a existência de variabilidades no processo de mapeamento, em relação à altura do edifício e ao nível de detalhamento da fachada.
- Quantificar a degradação das fachadas estudadas, identificando as anomalias mais incidentes e as zonas de fachadas mais atingidas no conjunto de amostras investigadas.

#### **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. O capítulo 1 destina-se à contextualização do tema abordado, à justificativa da pesquisa, assim como à apresentação dos objetivos propostos e da estrutura do trabalho.

No capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a degradação de fachadas, sendo expostos os principais mecanismos envolvidos na ocorrência de anomalias em fachadas com revestimento em argamassa. O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica acerca da inspeção e do mapeamento de danos, sendo discutido sobre a realização de inspeções em fachadas, destacando o uso de RPA, formas de tratamento de imagens para a obtenção de ortomosaicos e o mapeamento de danos para o estudo da degradação.

No capítulo 4, expõe-se a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos, incluindo o levantamento de dados de fachadas, o tratamento dos dados, a elaboração de critérios de tipologia para a identificação de anomalias, o mapeamento de danos e a quantificação da degradação.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos, com a análise do uso de RPA para a inspeção de fachadas, da qualidade dos ortomosaicos obtidos pelas duas técnicas utilizadas (ortogonalização e processamento digital de imagens), dos critérios de tipologia definidos para a identificação de anomalias, do mapeamento de danos realizado e da incidência de anomalias observada. Além disso, é apresentada a síntese e discussão dos resultados obtidos. Finalmente, no capítulo 6, são expostas as conclusões do estudo e as sugestões para desenvolvimentos futuros.

## **2 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

O envelope é a parte da edificação que está diretamente exposta aos agentes de degradação, sendo composto por fachadas, cobertura, esquadrias e outros componentes em contato com o exterior (CÓIAS, 2009). As fachadas, por comporem o envelope dos edifícios, fazendo a transição entre os meios externo e interno, auxiliam na proteção das edificações contra a atuação dos agentes de deterioração, como os elementos do clima (radiação solar, temperatura, chuva dirigida, entre outros). A fachada contribui para o comportamento em uso das edificações, sob a ação de esforços e das condições ambientais, sendo fundamental para o desempenho e a durabilidade dos edifícios (CARRETERO-AYUSO *et al.*, 2021; PEREIRA; DE BRITO; SILVESTRE, 2018). Os componentes das fachadas, devido à sua exposição, podem alcançar níveis críticos de degradação, contribuindo para o fim de sua vida útil e, assim, deixando de atender ao desempenho esperado (BS ISO 15686-1, 2011; ABNT NBR 15575-1, 2021).

A degradação é o processo pelo qual um ou vários agentes de degradação causam deterioração de uma ou mais propriedades de um material (aderência, permeabilidade, elasticidade, entre outras) (BS ISO 15686-2, 2012). A degradação também pode ser definida como a perda de funcionalidade de um sistema, reduzindo sua capacidade de atender às exigências para as quais foi concebido (durabilidade, estanqueidade, entre outras), conforme os agentes atuantes e as características do material (constituição, porosidade, entre outras) (CÓIAS, 2009; SOUSA; SILVA; SOUSA, 2016).

No processo de degradação, os agentes de degradação atuam por meio mecanismos específicos causando mudanças químicas, físicas e mecânicas dos sistemas, que se manifestam pela ocorrência de anomalias. As anomalias podem ocorrer de diferentes formas e intensidades, de acordo com a região em que o edifício se encontra e as diferentes orientações solares. Esses danos geralmente não se vinculam a apenas uma causa, sendo resultantes da atuação simultânea de diversos agentes, o que caracteriza a degradação como um processo complexo (CÓIAS, 2009; COSTA, 2014; SOUZA, 2019).

### **2.1 AGENTES DE DEGRADAÇÃO**

Os agentes de degradação são fatores de diferentes origens, naturezas e procedências, que afetam negativamente a funcionalidade dos materiais e componentes das edificações, podendo atuar de forma combinada ou não (ASTM E 632, 1996). O conhecimento dos agentes aos quais uma fachada está exposta é essencial para a avaliação do seu comportamento em uso (BS ISO 15686-2, 2012; SANTOS, 2018; SOUZA, 2019).

Quanto à natureza, os agentes de degradação podem ser classificados em mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos (BS ISO 6241, 1984; BS ISO 15686-2, 2012), como apresentado na Figura 2.1.



Figura 2.1 – Classificação dos agentes de degradação quanto à natureza.

Fonte: BS ISO 6241 (1984); BS ISO 15686-1 (2011).

Em relação à origem, os agentes podem ser externos ao edifício, sendo oriundos da atmosfera ou do solo, ou internos, estando relacionados ao projeto ou ao uso da edificação (BS ISO 6241, 1984; BS ISO 15686-2, 2012), como exposto na Figura 2.2. Quanto à procedência, os agentes de degradação podem ser classificados em agentes climáticos, biológicos, de carregamento, incompatibilidades e de uso (ASTM E 632, 1996), como mostra a Figura 2.3. Os agentes climáticos são os principais responsáveis pela degradação de fachadas, podendo-se destacar a radiação solar, a chuva dirigida (combinação de chuva e vento), a temperatura e os ventos, que ainda podem atuar sinergicamente na degradação (BS ISO 15686-1, 2011; SÁ *et al.*, 2015). Pereira, De Brito e Silvestre (2018) citam a umidade como a principal causa de anomalias em revestimentos de fachadas.

## ORIGEM DOS AGENTES DE DEGRADAÇÃO

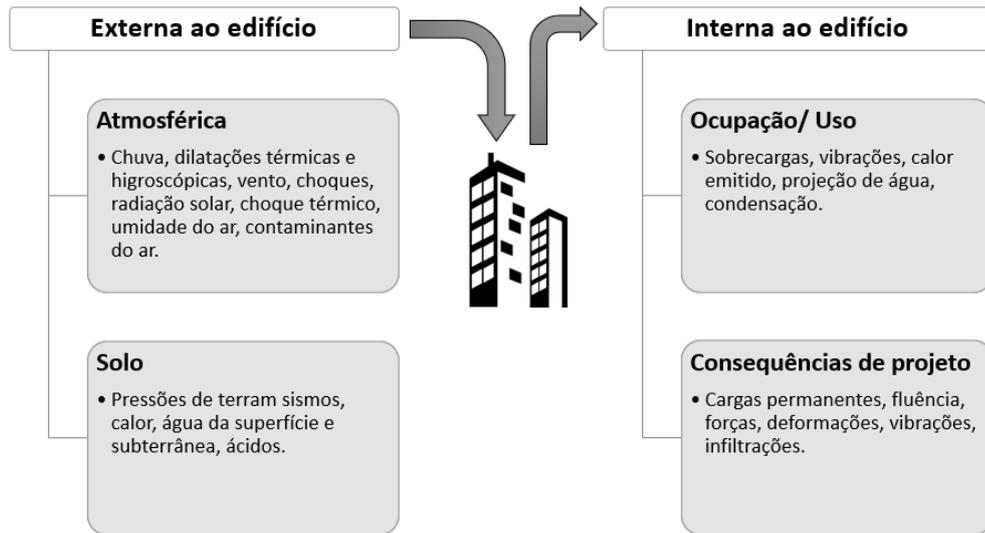


Figura 2.2 – Classificação dos agentes de degradação quanto à origem.  
Fonte: BS ISO 6241 (1984); BS ISO 15686-1 (2011); MOTA (2021).

## PROCEDÊNCIA DOS AGENTES DE DEGRADAÇÃO

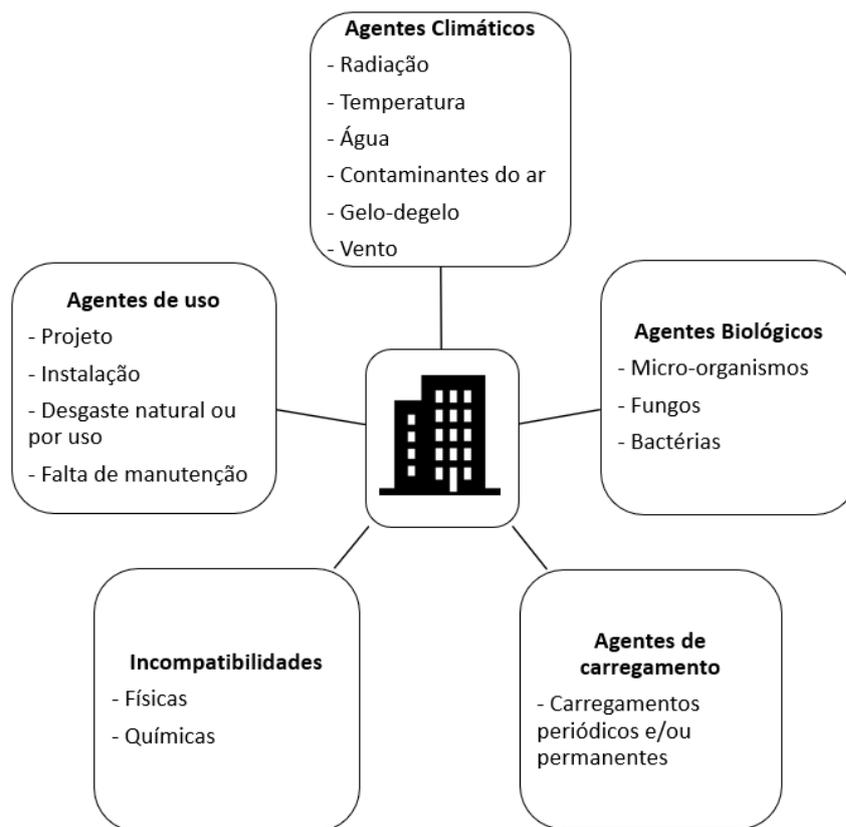


Figura 2.3 – Classificação dos agentes de degradação quanto à procedência.  
Fonte: ASTM E 632 (1996).

## 2.2 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

Os mecanismos de degradação são os processos pelos quais os agentes atuam ao longo do tempo nos componentes ou materiais de uma edificação, alterando sua composição ou microestrutura, (BS ISO 15686-2, 2012). Os mecanismos também podem ser definidos como a sequência de alterações químicas ou físicas que levam a mudanças prejudiciais em uma ou mais propriedades de um componente ou material, quando exposto a um ou mais agentes de degradação (ASTM E 632). A possibilidade de envolver mais de uma alteração de propriedade ou agente de degradação dificulta a identificação dos mecanismos (FLORES-COLEN, 2009; SANTOS, 2018).

A Figura 2.4 ilustra a relação de causa e efeito entre agentes, mecanismos de degradação e a ocorrência de anomalias em fachadas. A intensidade dos agentes de degradação depende das variações climáticas, já os mecanismos dependem das características e propriedades dos elementos e materiais (composição química, estrutura, porosidade), sendo influenciados pelas opções de projeto e construção (materiais, espessuras, condições de cura, entre outros) e por fatores agravantes ou atenuantes aos quais a fachada está exposta (CÓIAS, 2009). Como fator agravante, pode-se citar uma alta amplitude térmica, que provoca variações dimensionais (contração ou dilatação) do revestimento, podendo resultar na ocorrência de fissuras. Já como situação atenuante, um exemplo é o posicionamento de uma fachada em uma orientação menos suscetível à incidência de chuva dirigida, reduzindo o ingresso de água no revestimento. A forma como as anomalias ocorrem também é influenciada pelas características dos materiais (constituição, porosidade, entre outras) e se evidenciam por sintomas nas fachadas (MOTA, 2021).

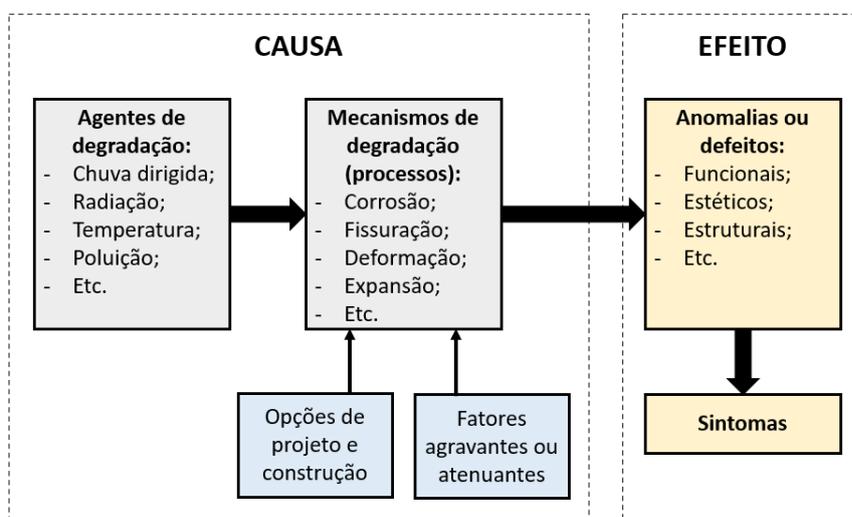


Figura 2.4 – Agentes, mecanismos de degradação e ocorrência de anomalias.  
Fonte: CÓIAS (2009).

No estudo da degradação de um componente da edificação, é importante a identificação do maior número possível de mecanismos pelos quais os agentes de degradação existentes podem agir induzindo mudanças nas propriedades do componente (JERNBERG *et al.*, 2004). O Quadro 2.1 exibe os principais agentes e mecanismos de degradação atuantes na ocorrência de anomalias em fachadas com revestimento em argamassa, sendo em seguida apresentada a descrição dos mecanismos. As principais anomalias observadas abrangem descolamentos, fissuras, manchas, eflorescências, pulverulência e anomalias da pintura (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021).

Quadro 2.1 – Principais agentes e mecanismos de degradação envolvidos na ocorrência de anomalias em revestimentos de argamassa.

<b>Anomalia</b>	<b>Mecanismos de degradação</b>	<b>Agentes de degradação</b>
Descolamento	Deformação da base (alvenaria)	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria, radiação solar, temperatura
	Cristalização de sais da alvenaria	Água (chuva), temperatura (secagem), cristalização
	Retração da argamassa	Transporte de água (secagem), esforços de tração
Fissura	Retração da argamassa	Transporte de água (secagem), esforços de tração
	Deformação diferencial da base e entre camadas de revestimento	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria, radiação solar, temperatura
	Concentração de esforços	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria
	Cristalização de sais da argamassa ou da alvenaria	Água (chuva, ascensional), temperatura, cristalização
Mancha	Molhagem não uniforme do revestimento	Chuva dirigida
	Desenvolvimento de micro-organismos biológicos	Micro-organismos, água, pH, temperatura, umidade relativa, radiação solar
	Acúmulo de sujeiras	Incidência de vento, chuva dirigida, chuva ácida
Eflorescência	Cristalização superficial de sais da argamassa ou da alvenaria	Sais, água e transporte de água, temperatura (secagem), cristalização
Pulverulência	Desagregação superficial dos constituintes da argamassa	Esforços de expansão pela cristalização de sais, micro-organismos, compostos químicos do ambiente
Anomalias da pintura	Degradação e enrijecimento da película	Radiação solar UV, temperatura
	Ingresso de água no substrato	Temperatura (secagem), água (chuva, umidade)
	Deformação excessiva do substrato excedendo elasticidade da pintura	Esforços e deformações da estrutura, radiação solar, temperatura
	Base contaminada por sais	Sais, água e transporte de água, temperatura (secagem), cristalização

Fonte: Adaptado de BAUER; SOUZA; MOTA (2021).

### 2.2.1 Descolamento

O descolamento consiste na perda de aderência entre a argamassa e a sua base, ou seja, na separação entre as duas superfícies (FREITAS, 2012). Quando isso ocorre, a argamassa pode se desprender definitivamente do suporte, deixando de cumprir sua função de proteção da base, de forma que a base fica sujeita à ação direta dos agentes de degradação (GASPAR, 2009). O descolamento pode ocorrer por três mecanismos principais: retração da argamassa, deformação da base (alvenaria) e cristalização de sais da alvenaria (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021).

A retração corresponde à redução de volume da argamassa, quando exposta às condições de secagem ambientais. Os esforços provocados pela retração da argamassa podem resultar em descolamentos pontuais em regiões da interface entre revestimento e substrato com baixa aderência ou falhas de aderência, como ilustra a Figura 2.5. Com o tempo, os locais em que o descolamento ocorre podem se tornar pontos de dissipação de esforços, que aumentam de acordo com as movimentações que ocorrem no revestimento. As situações de baixa aderência ocorrem principalmente quando a base é em concreto, em que há uma maior dificuldade de se conseguir uma aderência inicial adequada, devido à baixa absorção e rugosidade da superfície (PEREIRA, 2007).

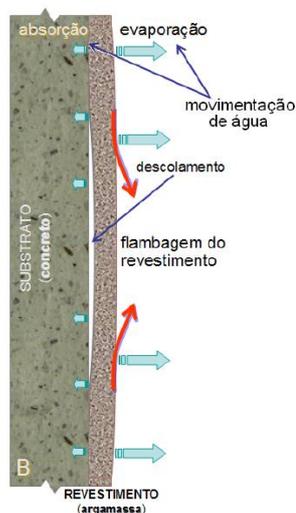


Figura 2.5 – Ilustração de descolamento por retração da argamassa.

Fonte: PEREIRA (2007).

A deformação da base corresponde à atuação conjunta de esforços e deformações da estrutura e da alvenaria, da radiação solar e da temperatura. Os esforços gerados provocam movimentos de variações dimensionais (contração ou dilatação) que, quando restringidos, podem resultar no descolamento (GASPAR, 2009; MAGALHÃES, 2002; MOTA, 2021). A restrição de movimentação pode ocorrer pela própria aderência entre as camadas (SOCOLOSKI, 2021).

Quando ocorre a contração da base, pode haver, em um primeiro momento, o afastamento da argamassa em relação ao suporte (alvenaria), seguido da formação de convexidades para o exterior (Figura 2.6). Com isso, também podem ser originadas fissuras na argamassa por incapacidade de resistência aos esforços de flexão e torção que se criam na camada rígida do revestimento. E, por fim, há o desprendimento da argamassa, que é a separação definitiva do revestimento em relação ao suporte (GASPAR, 2009; MAGALHÃES, 2002; MOTA, 2021).



Figura 2.6 – Empolamento por contração da base.

Fonte: MOTA (2021).

Em relação à cristalização de sais (explicada no item 2.2.3), quando esta ocorre na interface entre alvenaria e revestimento, a expansão dos sais provoca um esforço no revestimento que pode superar a capacidade de aderência entre este e a base e resultar no descolamento da argamassa (MAGALHÃES, 2002; MOTA, 2021).

### 2.2.2 Fissura

As fissuras ocorrem quando há concentração de esforços ou esforços cíclicos e representam uma fase anterior à fratura do material, que é quando este se separa em mais de uma parte (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016). Com a fissuração, o revestimento fica mais suscetível à entrada de água, podendo resultar na ocorrência de outras anomalias (FREITAS, 2012). Os principais mecanismos envolvidos na ocorrência de fissuras são: retração da argamassa, deformação diferencial da base (alvenaria) e entre camadas do revestimento, concentração de esforços e cristalização de sais (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021; SANTOS, 2017).

Em relação à retração da argamassa, as solicitações de tração provocadas pela secagem podem ocasionar fissuras superficiais no revestimento, como ilustra a Figura 2.7-a. As fissuras podem se manifestar em decorrência do processo executivo (sarrafeamento precoce, desempenho excessivo, espessura), composição da argamassa (excesso de água e de finos, alto teor de cimento) e se agravar de acordo com as condições ambientais (temperatura, umidade relativa) (PEREIRA, 2007). As fissuras também podem surgir após o descolamento por retração, devido à flambagem do revestimento. Nesse caso, elas se manifestam nos locais de maior solicitação à tração, como ilustra a Figura 2.7-b (PEREIRA, 2007).

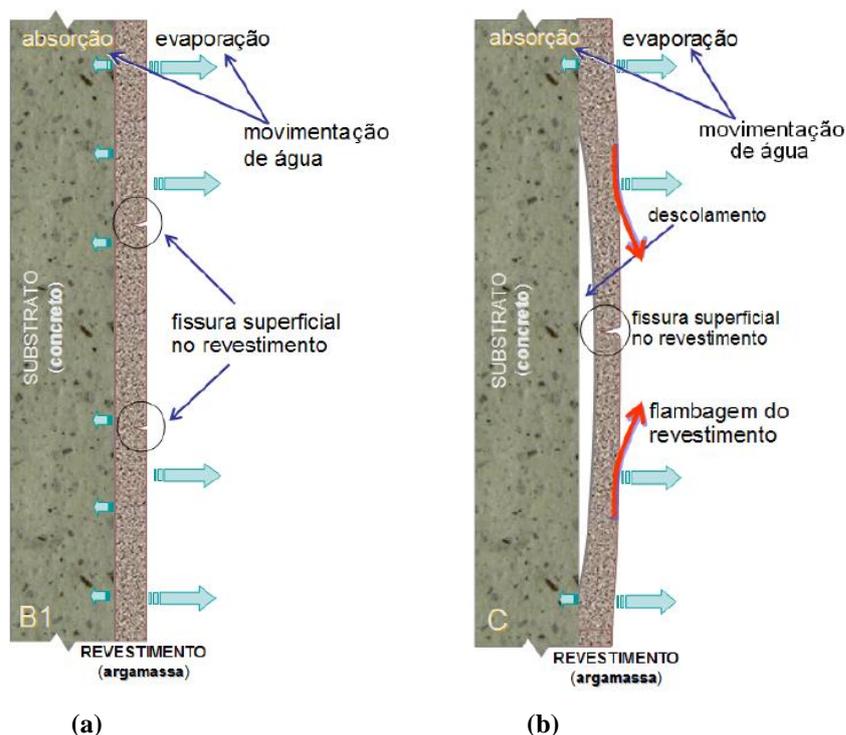


Figura 2.7 - Ilustrações de fissuras a) por retração da argamassa e b) após o descolamento por retração.

Fonte: PEREIRA (2007).

Quanto à deformação da base (alvenaria) e entre camadas do revestimento, quando este é submetido a variações térmicas, suas camadas e a base sofrem dilatações e contrações, que ocorrem de forma diferencial. Em decorrência dos diversos tipos de materiais utilizados, as camadas do revestimento e a base apresentam diferentes coeficientes de dilatação higrotérmica, o que resulta em movimentações diferenciais entre os elementos. Havendo restrições de movimentação, como a aderência entre as camadas, são gerados esforços que podem provocar o surgimento de fissuras (MAGALHÃES, 2002; MOTA, 2021; SOCOLOSKI, 2021).

Os cantos de aberturas ou vãos estão sujeitos à concentração de esforços associados a deformações da estrutura e da alvenaria. A interrupção da parede que ocorre nesses locais gera uma maior concentração de esforços, podendo levar à fissuração no contorno dos vãos e aberturas (SOUSA; SILVA, SOUSA, 2016). Com relação à cristalização de sais, quando essa ocorre entre o revestimento e a base, podem surgir fissuras devido aos esforços de tração induzidos pela expansão dos sais (MOTA, 2021).

### 2.2.3 Eflorescência

A eflorescência consiste na cristalização de sais na superfície do revestimento, oriundos da argamassa ou da alvenaria, ou de origem externa (poluentes atmosféricos, água do solo). Para que ocorra esse mecanismo, é necessária a existência simultânea de três fatores principais: a

presença de água; a existência de sais solúveis em água nos materiais constituintes do revestimento ou da base; e condições ambientais favoráveis à secagem do revestimento (GASPAR, 2009; MAGALHÃES, 2002).

Na presença de água, os sais presentes nos componentes do revestimento ou da base são dissolvidos. Durante a secagem, à medida que a água atravessa os poros do material e se aproxima do exterior, ocorre sua evaporação e os sais são depositados na superfície e se cristalizam de forma expansiva (GASPAR, 2009; LUBELLI; VAN HEES; GROOT, 2006; PUIM; GONÇALVES; BRITO, 2012). A cristalização superficial dos sais pode prejudicar a durabilidade e o aspecto estético do revestimento, se constituindo em depósitos esbranquiçados na superfície (eflorescência). E danos mais graves podem ocorrer quando a cristalização acontece no interior do revestimento (criptoflorescência ou subflorescência), em que a expansão dos sais pode levar à desagregação dos materiais, à fissuração e ao descolamento do revestimento (GASPAR, 2009; LUBELLI; VAN HEES; GROOT, 2006; MAGALHÃES, 2002).

#### **2.2.4 Mancha**

As manchas consistem em alterações de cor nos revestimentos e geralmente ocorrem devido à presença de umidade. Pode-se considerar a ocorrência de manchas associada a três mecanismos principais: molhagem não uniforme do revestimento, desenvolvimento de micro-organismos biológicos e acúmulo de sujidades (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021).

O desenvolvimento de micro-organismos ocorre quando existem condições ambientais favoráveis, como compatibilidade do pH do suporte, presença de umidade, além de temperatura e iluminação adequadas. A fixação e o desenvolvimento de micro-organismos como fungos, musgos e algas, estão associados à manifestação de manchas escuras no revestimento (QUINTELA, 2006), como ilustra a Figura 2.8-a. A colonização biológica é uma das principais anomalias associadas à presença de umidade em revestimentos de argamassa (PEREIRA; DE BRITO; SILVESTRE, 2018; QUINTELA, 2006). Para o desenvolvimento de fungos emboloradores, as condições mais favoráveis correspondem à umidade relativa do ar superior a 80% com temperaturas acima de 10°C (SANTOS, 2019; SEDLBAUER, 2001). A Figura 2.9 ilustra a faixa de crescimento de fungos em função da temperatura e da umidade relativa do ar, mostrando a maior possibilidade de desenvolvimento de fungos na área hachurada.

Em relação à molhagem do revestimento, a incidência de água da chuva é maior no topo das edificações e, por ação da gravidade, a água escoar pela fachada (Figura 2.8-b), arrastando

partículas de sujeira, seguindo caminhos preferenciais em decorrência dos detalhes construtivos existentes (MOTA, 2021; QUINTELA, 2006). Se o processo de secagem do revestimento não for suficientemente rápido, o teor de umidade se mantém elevado por longos períodos, aumentando o risco de desenvolvimento de micro-organismos (JORNE, 2010; MOTA, 2021).

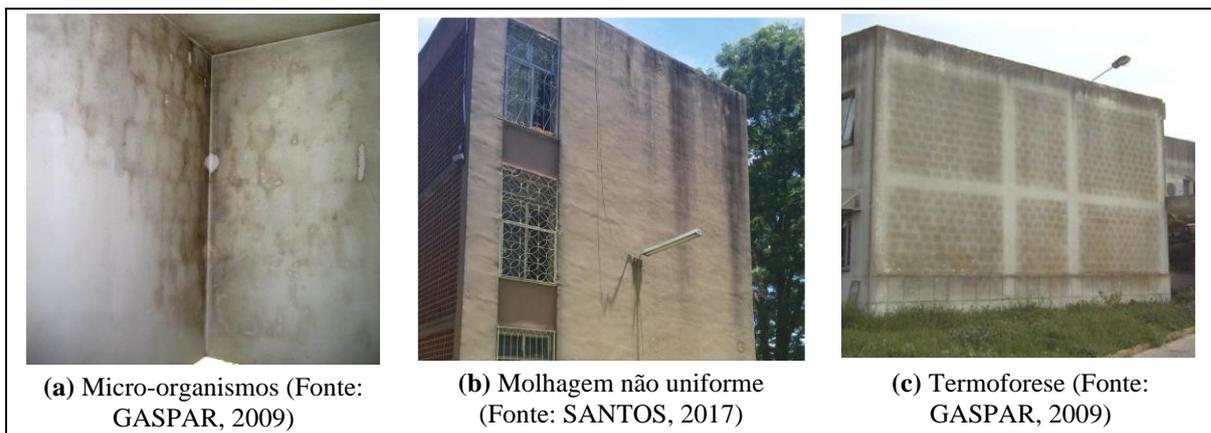


Figura 2.8 – Exemplos de manchas em revestimentos de argamassa.

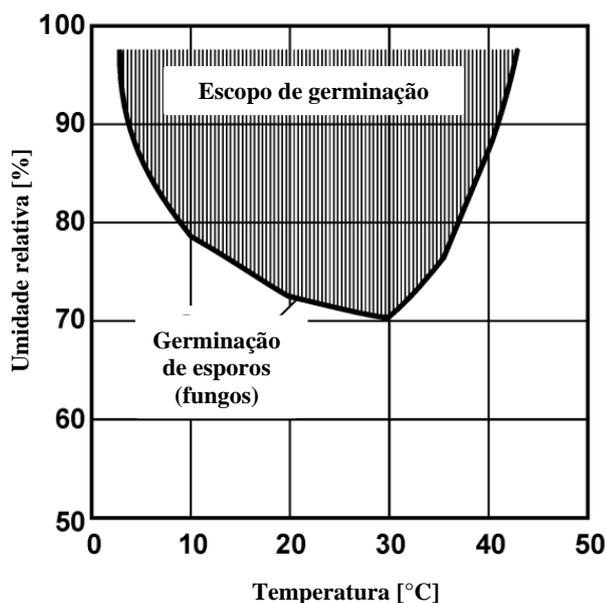


Figura 2.9 – Faixa de crescimento de fungos emboloradores em função da temperatura e da umidade relativa.

Fonte: SEDLBAUER (2001).

As manchas causadas pelo acúmulo de sujeiras consistem no depósito de partículas contaminantes atmosféricas (partículas de solo, poluição) na superfície do revestimento pela ação do vento e da chuva, que também agem de forma combinada (chuva dirigida) e transportam essas partículas da sua fonte de origem até a fachada (QUINTELA, 2006). Durante a noite, quando as superfícies externas dos edifícios esfriam, a umidade do ar pode condensar

na face externa da parede e penetrar alguns milímetros por poros capilares e fissuras. A umidade condensada possui partículas de diversas naturezas que antes estavam suspensas no ar, podendo causar o manchamento da fachada (SOCOLOSKI, 2021; TORRACA, 2009). As partículas de sujeira se depositam nas paredes com mais intensidade quanto menor a temperatura superficial. No caso da termoforese (Figura 2.8-c), o depósito de sujidades ocorre de forma diferencial, devido à ausência ou insuficiência de isolamento térmico ou à utilização de argamassas com espessura muito reduzida, evidenciando os elementos estruturais e as juntas de assentamento da alvenaria (GASPAR, 2009).

### **2.2.5 Pulverulência**

A pulverulência se caracteriza pela desagregação dos componentes da argamassa de revestimento, conduzindo ao desprendimento do material na forma de pó ou grânulos. Uma argamassa com pulverulência não apresenta resistência mecânica superficial adequada, o que é verificado pelo seu esfarelamento ao se friccionar a superfície (CARASEK *et al.*, 2011; GASPAR, 2009; MOTA, 2021). A pulverulência pode ocorrer devido a esforços de expansão relacionados à presença de umidade e à cristalização de sais, à ação de micro-organismos e à reação química entre os materiais e os compostos do ambiente (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021; MAGALHÃES, 2002).

Quanto à cristalização de sais, a pulverulência pode se manifestar quando a cristalização ocorre no interior do revestimento, havendo a desagregação dos materiais, como descrito no item 2.2.3. A presença de micro-organismos pode resultar no ataque químico aos materiais do revestimento, podendo gerar ácidos que desagregam os materiais (MAGALHÃES, 2002). Quanto às reações químicas entre os materiais que compõem revestimento (principalmente os aglomerantes, como cal, cimento, gesso) e os compostos naturais ou artificiais (poluição) presentes no ambiente em que está inserida a edificação, o resultado pode ser a transformação molecular dos materiais. Em alguns casos, as novas estruturas moleculares formadas nas reações podem resultar na desagregação entre os constituintes do revestimento (MAGALHÃES, 2002).

### **2.2.6 Anomalias na pintura**

A camada de pintura de revestimentos em argamassa pode apresentar diferentes anomalias, podendo ser citados descolamentos, fissuras e bolhas. As anomalias da pintura podem ocorrer principalmente por: degradação e enrijecimento da película de tinta, ingresso de água no

substrato, deformação excessiva do substrato e base contaminada por sais (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021).

A ação contínua da radiação ultravioleta provoca a quebra das ligações poliméricas da pintura. Dessa forma, a resina (material polimérico que compõe a tinta) é degradada, perdendo sua aderência à argamassa e, com isso, pode haver o descolamento da pintura. A degradação da resina também pode resultar no enrijecimento da película de tinta, já que a resina é responsável por sua flexibilidade, podendo provocar fissuras na pintura. O desgaste da pintura ainda pode ser decorrente das variações climáticas, resultando em variações dimensionais cíclicas da película que afetam a elasticidade da pintura, podendo levar à ocorrência de fissuras e à perda de aderência da película (CHAI, 2011; MARQUES, 2013; MOTA, 2021). Quanto à deformação do substrato, quando esforços e deformações da estrutura atuam juntamente com a radiação solar e a temperatura, pode haver uma deformação excessiva da argamassa, excedendo a capacidade de expansão e contração da pintura, o que também resulta na fissuração da película (MOTA, 2021).

O ingresso de água no substrato pode provocar a ocorrência de bolhas na pintura. Com a entrada de água nos poros da argamassa e sua posterior secagem, pode haver a migração da água para a interface argamassa-pintura, causando uma deformação convexa no revestimento (empolamento), devido a uma perda de aderência localizada, se apresentando na forma de bolhas (RODRIGUES *et al.*, 2005 *apud* CHAI, 2011). Outro mecanismo para o surgimento de bolhas e o descolamento da pintura é a cristalização de sais da base, quando este ocorre na interface entre a argamassa e a pintura. A expansão dos sais provoca perdas de aderência localizadas (bolhas), que podem se propagar, ocorrendo o descolamento da película (MOTA, 2021). Os revestimentos com baixa permeabilidade ao vapor de água e alta impermeabilidade à água são mais propensos à ocorrência de bolhas, por criarem uma barreira à saída de umidade, provocando sua permanência prolongada no revestimento (CHAI, 2011; MOTA, 2021).

### **2.3 MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO**

A quantificação da degradação pode ser utilizada para diversos fins, podendo ser citadas a avaliação da vida útil, a análise da degradação ao longo do tempo, entre outros (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020). Para estudar a vida útil de sistemas em exposições prolongadas, a BS ISO 15686-2 (BSI, 2012) propõe quatro métodos (exposição em campo, inspeção de edifícios, exposição em edifícios experimentais e exposição ao uso), dos quais se destaca a inspeção de edifícios, por possibilitar analisar o estado dos componentes, relacionado

às suas condições de utilização e de exposição (BS ISO 15686-2, 2012). É nesse contexto que se insere o Método de Mensuração da Degradação (MMD), desenvolvido dentro do projeto de pesquisa Degradação, Mensuração e Modelação (*DMM<sub>Project</sub>*), do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB. O MMD permite mensurar a degradação de fachadas, sendo composto por procedimentos que envolvem investigação documental, investigação de campo, mapeamento de danos e quantificação da degradação (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020; PIAZZAROLLO, 2019; SANTOS, 2018; SILVA, 2014; SOUZA, 2016, 2019).

O MMD permite a obtenção dos indicadores Fator de Danos (FD) e Fator Geral de Degradação (FGD). O FD representa a extensão de área degradada, em relação à área total da amostra de fachada, sendo um parâmetro inicial para a análise da degradação e para o entendimento do fenômeno estudado. O FD também pode ser calculado para cada anomalia ( $FD_a$ ), permitindo analisar a incidência de degradação de cada uma. A soma dos valores de FD para todas as anomalias resulta no valor total do FD. O FGD, por sua vez, considera a influência e a importância de cada tipo de anomalia para a degradação, atribuindo pesos relativos aos diferentes tipos de danos, permitindo identificar tendências de comportamento. Esse indicador se aplica especialmente às condições de construção, exposição e uso das edificações do Distrito Federal, sendo utilizado para representar a degradação em função da idade da edificação (curvas de degradação). Quanto mais alto o valor de FGD, maior a degradação da fachada, sendo que valores superiores a 0,05 indicam o fim da vida útil da amostra de fachada (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020; PIAZZAROLLO, 2019; SANTOS, 2018; SOUZA, 2019). Quando a fachada é dividida em zonas, como exemplificado na Figura 2.10, também podem ser obtidos indicadores de frequência ( $IFr_{(z)}$ ) e gravidade ( $IGr_{(z)}$ ) do dano em cada zona, possibilitando a identificação das zonas mais críticas na degradação da amostra de fachada (BAUER; SOUZA, 2022). Os indicadores propostos pelo MMD são apresentados no Quadro 2.2, nas Equações 2.1 a 2.5.

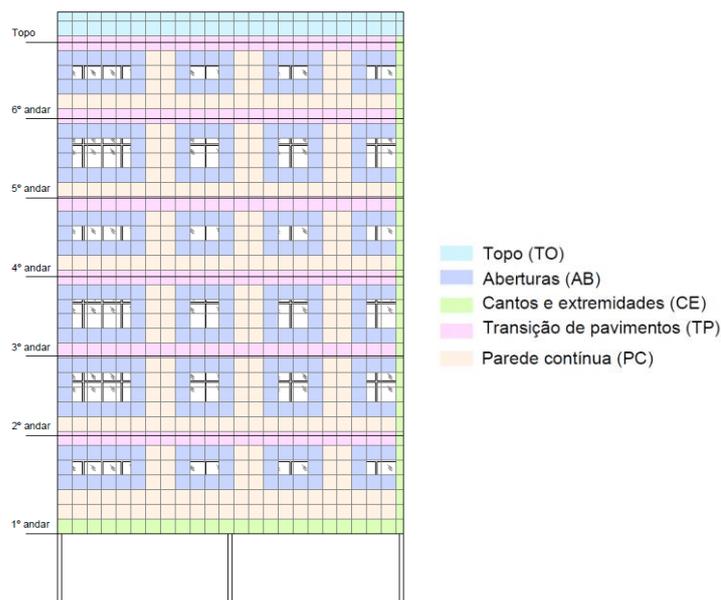


Figura 2.10 – Exemplo da divisão da fachada em zonas.

Quadro 2.2 – Indicadores de degradação propostos pelo MMD.

Indicadores de degradação propostos	
$FD_a = \frac{A_{da(n)}}{A_t} \quad (2.1)$	<p><math>FD_a</math> - Fator de Danos da anomalia <math>n</math>;</p> <p><math>A_{da(n)}</math> - Área degradada por uma anomalia <math>n</math> (<math>m^2</math>);</p> <p><math>A_t</math> - Área total da amostra de fachada (<math>m^2</math>);</p>
$FD = \sum_1^n FD_a \quad (2.2)$	<p>FD – Fator de Danos;</p> <p><math>FGD</math> - Fator Geral de Degradação;</p>
$FGD = \frac{\sum(A_{da(n)} \cdot G_n \cdot RI_{(n)})}{A_t \cdot \sum G_{máx}} \quad (2.3)$	<p><math>G_n</math> – Fator de gravidade da anomalia (1, 2, 3, 4);</p> <p><math>RI_{(n)}</math> - Fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia;</p> <p><math>\sum G_{máx}</math> - Somatório dos fatores de gravidade (<math>G_n</math>) equivalentes ao nível da pior condição.</p>
$IFr_{(z)} = \frac{A_{an(z)}}{A_t} \quad (2.4)$	<p><math>IFr_{(z)}</math> – Índice de Frequência de Degradação da zona <math>z</math>.</p> <p><math>A_{an(z)}</math> - Área degradada da zona <math>z</math> (<math>m^2</math>);</p>
$IGr_{(z)} = \frac{A_{an(z)}}{A_{(z)}} \quad (2.5)$	<p><math>IGr_{(z)}</math> - Índice de Gravidade de Degradação da zona <math>z</math>;</p> <p><math>A_{(z)}</math> – Área da zona <math>z</math> (<math>m^2</math>).</p>

Fonte: ANDRADE (2022); BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO (2020).

### **3 INSPEÇÃO E MAPEAMENTO DE DANOS**

O estudo das anomalias em fachadas, compreendendo os mecanismos envolvidos e incluindo a realização de inspeções e o mapeamento de danos, possibilita a mensuração da degradação desse sistema. Além disso, é possível detectar padrões ou tendências de degradação, auxiliando na compreensão desse fenômeno e contribuindo para o estudo da vida útil de fachadas (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021; BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020)

O mapeamento de danos consiste em todo o processo de produção dos mapas de danos (TINOCO, 2009). Essa atividade envolve a inspeção, que tem como objetivo verificar a situação do edifício e de seus elementos e sistemas, em um determinado momento. Os dados obtidos na inspeção, por sua vez, precisam ser tratados de acordo com a finalidade do estudo, para então serem utilizados na elaboração dos mapas. Todas essas etapas afetam o resultado final obtido, por isso, a importância em se compreender e aperfeiçoar as técnicas de inspeção, tratamento de dados e mapeamento de danos.

#### **3.1 INSPEÇÃO DE FACHADAS**

A inspeção de edifícios é uma das formas de obtenção de dados de exposição de longo prazo para o estudo da vida útil, sendo de grande relevância, por relacionar diretamente o estado dos componentes, a exposição ambiental e as condições de uso da edificação (BS ISO 15686-2, 2012). No estudo da degradação, a realização de inspeções de fachadas engloba a vistoria *in loco*, o registro fotográfico, o uso de ferramentas e ensaios que permitam identificar anomalias nas fachadas, como termografia de infravermelho e ensaio de aderência à tração, sendo uma etapa essencial para o mapeamento de danos (ANTUNES, 2010; MELO JÚNIOR, 2016). Além disso, é necessária a verificação da situação do entorno da edificação, que determina suas condições de exposição, o que auxilia na compreensão das anomalias identificadas. É importante ainda que, antes da realização da inspeção, seja feito o levantamento de dados que permitam a caracterização do edifício, como projetos, histórico de intervenções, entre outros, que auxiliam na preparação da inspeção (FLORES-COLEN, 2009; PIAZZAROLLO, 2019).

##### **3.1.1 Inspeção de campo**

Na inspeção de campo, a análise visual é a abordagem mais comum para identificar anomalias nas fachadas de edifícios e, em muitos casos, essa técnica é suficiente para realizar um diagnóstico confiável (DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021). Uma ferramenta importante, nessa análise, é o levantamento fotográfico, que permite o registro da situação do edifício na

data da vistoria e pode dar suporte e esclarecer possíveis dúvidas durante a elaboração e a interpretação dos mapas de danos (ANTUNES, 2010).

Para auxiliar na identificação de anomalias, podem ser aplicadas outras técnicas de diagnóstico associadas à inspeção visual, destrutivas (como ensaios de aderência à tração) ou não destrutivas (como testes de percussão e termografia de infravermelho). A realização de testes *in situ* pode auxiliar na interpretação dos resultados e minimizar deficiências e subjetividades da análise visual, que depende da experiência e do conhecimento do vistoriador (FLORES-COLEN, 2009).

Uma limitação encontrada nas inspeções de edifícios é a dificuldade de acesso em fachadas de elevadas alturas, o que pode resultar na limitação da identificação de anomalias nas partes mais altas da edificação, pela dificuldade de visualização e pela obtenção de fotografias com alta inclinação, como exemplificado na Figura 3.1 (FLORES-COLEN, 2009). Uma alternativa bastante utilizada, nesse caso, é o alpinismo industrial, que consiste em descidas realizadas pelo profissional desse ramo, com a utilização de um balancim individual, por toda a extensão da fachada, o que também permite coletar amostras para possíveis ensaios e realizar testes de percussão (ANTUNES, 2010; BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021). Além disso, tem havido interesse pela utilização de tecnologias para facilitar a inspeção de fachadas, como a termografia de infravermelho, o escaneamento a laser tridimensional, a fotogrametria digital e o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), sendo as duas últimas abordadas no presente estudo.

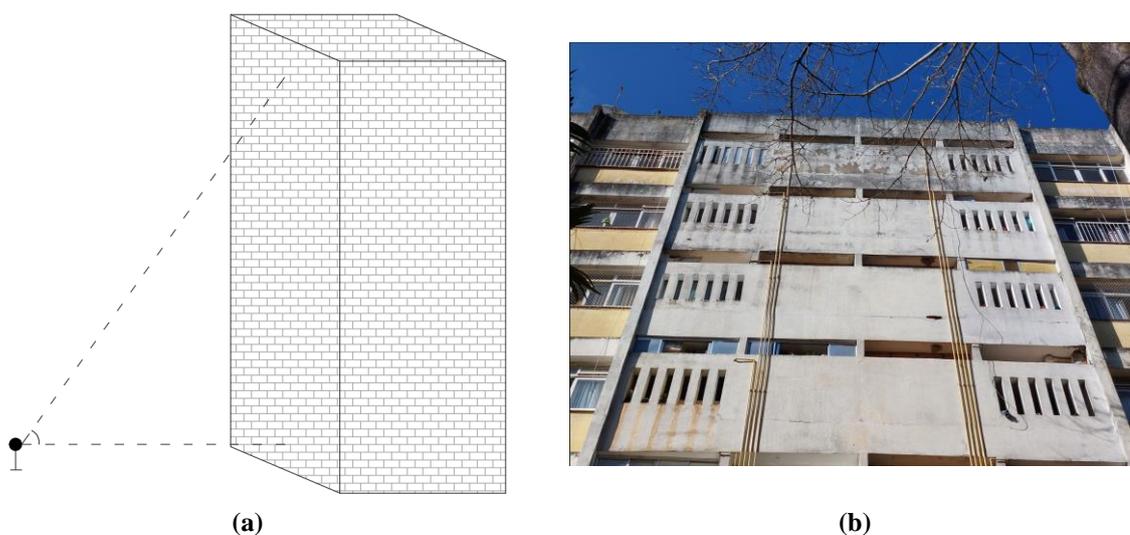


Figura 3.1 – Exemplo de (a) captura de fotografia a partir do solo, obtendo (b) imagem com alta inclinação.

O uso de tecnologias pode otimizar o processo de inspeção, de forma a obter resultados mais precisos e confiáveis, diminuindo a subjetividade da análise do vistoriador, além de reduzir o tempo de levantamento. A termografia de infravermelho é essencial na identificação de anomalias não visíveis, principalmente descolamentos. A fotogrametria e o processamento digital de imagens se mostram importantes para mapear e quantificar anomalias. Já o uso de RPA é recomendado para a inspeção de edifícios altos e com fachadas de difícil acesso (DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021; SERRAT *et al.*, 2019).

### **3.1.2 Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)**

A Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft – RPA*), também conhecida como drone, é uma ferramenta que facilita e agiliza o processo de inspeção em altura. A denominação de RPA é utilizada atualmente pela Organização Internacional da Aviação Civil - *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2017) e pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2021). Outra denominação encontrada na literatura é de *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Na construção civil, o uso de RPA é particularmente importante para a inspeção de edifícios, contribuindo para monitorar seu estado de conservação, principalmente quando se trata de edificações de grande altura, cujo acesso é mais difícil (DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021; FALORCA; LANZINHA, 2019; FALORCA; MIRALDES; LANZINHA, 2021). Também é importante considerar o risco envolvido no trabalho em altura quando se utiliza o alpinismo industrial, de forma que a RPA passa a ser uma alternativa interessante, aumentando a segurança e facilitando o processo. Além disso, quando se compara as duas técnicas, o uso de RPA também pode reduzir os custos de inspeção (FALORCA; LANZINHA, 2021; RUIZ; LORDSLEEM JÚNIOR; ROCHA, 2021).

As RPAs com asas rotativas permitem que sejam utilizados diferentes tipos de câmeras e sensores embarcados, a depender da capacidade de carga da aeronave (RUIZ; LORDSLEEM JÚNIOR; ROCHA, 2021). Na inspeção de fachadas, os mais comuns são as câmeras digitais, as câmeras termográficas de infravermelho e os *scanners* a laser (ACOSTA *et al.*, 2019). O uso de câmeras termográficas e *scanners* a laser embarcados apresentam potencial para a detecção de anomalias em fachadas, aumentando a eficácia da inspeção. A termografia, em especial, permite a identificação e a mensuração de descolamentos no revestimento não visíveis por meio de imagens digitais (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; ENTROP; VASENEV, 2017; MADER *et al.*, 2016). Porém, o uso dessas técnicas combinadas às RPAs ainda exige um

alto investimento e um conhecimento especializado para realizar os voos e o processamento dos dados obtidos (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; ELLENBERG *et al.*, 2016). Outras limitações do uso desses equipamentos embarcados é a limitação de carga das aeronaves e as oscilações climáticas que podem influenciar no voo e nos dados obtidos (ANDRADE *et al.*, 2019).

Na inspeção de fachadas com utilização de RPA, pode ser realizada a captura de fotografias e vídeos de alta resolução de toda a extensão da fachada. A obtenção de imagens mais próximas e perpendiculares, em qualquer altura, possibilita uma melhor análise da situação da fachada na data da inspeção. Porém, como desvantagem, cita-se a impossibilidade de realizar testes, como no caso do alpinismo industrial (FALORCA; MIRALDES; LANZINHA, 2021; MENDES *et al.*, 2022; RUIZ; LORDSLEEM JÚNIOR; ROCHA, 2021).

A associação da captura de imagens com RPA com *softwares* de fotogrametria digital possibilita realizar o mapeamento completo da fachada, permitindo a construção de modelos tridimensionais e ortomosaicos, que podem auxiliar na elaboração de mapas de danos (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; DRAGANIC *et al.*, 2022; MELO JÚNIOR, 2016). Para isso, devem ser tomados alguns cuidados para a obtenção de fotografias de qualidade adequada. Uma característica importante é o posicionamento para as tomadas fotográficas, que devem manter um paralelismo entre si e uma perpendicularidade ao plano da fachada (AMORIM; SILVA; CHRISTAKOU, 2012; MELO JÚNIOR, 2016; MENDES *et al.*, 2022), como ilustra a Figura 3.2.

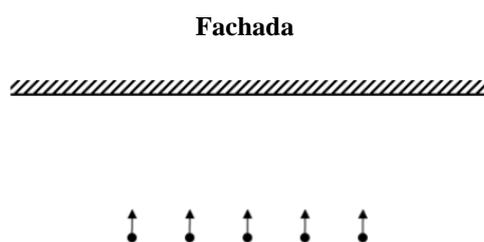


Figura 3.2 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas.

Fonte: AGISOFT (2023).

É recomendado que a sobreposição de fotografias, longitudinal e transversal, esteja acima de 60%, garantindo que cada parte da superfície seja fotografada pelo menos três vezes, o que facilita a correção de erros no processamento das imagens (GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016; SIEWCZYŃSKA; ZIOŁO, 2022). A distância da aeronave à fachada deve ser a menor possível, para possibilitar a obtenção de imagens de qualidade

suficiente para a identificação de anomalias, sendo a distância mínima recomendada de 3 metros, para garantir a segurança do voo. Já a distância entre tomadas fotográficas pode ser calculada pela Equação 3.1 (GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016; SILVA *et al.*, 2021).

$$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (3.1)$$

Em que  $B$  é a distância entre tomadas fotográficas (m);  $L$  é a distância à fachada (m);  $\alpha$  é o ângulo de abertura da lente da câmera (graus); e  $p$  é o percentual de sobreposição transversal (%).

É indicado que a relação ( $R$ ) entre a distância das posições das estações na tomada fotográfica ( $B$ ) e a distância das estações para a fachada fotografada ( $L$ ) esteja entre 0,1 e 0,5, de acordo com a Equação 3.2. Isso porque, se essa relação for muito alta, a correlação automática dos pontos é prejudicada e, por outro lado, se essa relação for muito baixa, há uma redução da precisão da reconstrução digital da fachada. (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016).

$$0,1 < R = \frac{B}{L} < 0,5 \quad (3.2)$$

Por fim, recomenda-se seguir uma sequência de captura de imagens em direção paralela à maior dimensão da fachada. Ou seja, seguir uma sequência horizontal quando a largura é maior do que a altura e uma sequência vertical, quando a altura é superior, como ilustrado na Figura 3.3. (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021).

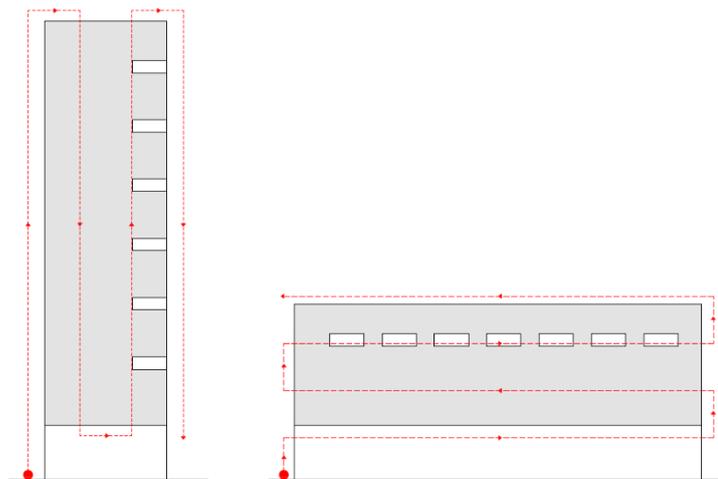


Figura 3.3 – Sequência de captura de imagens em direção paralela à maior dimensão da fachada. Algumas limitações no uso de RPAs são a baixa duração das baterias, as barreiras físicas no entorno das edificações (árvores, fiação, postes) e as condições meteorológicas (chuva, ventos

fortes). Sobre os equipamentos, o Quadro 3.1 apresenta alguns exemplos dos tipos de RPA que podem ser utilizados para a inspeção de fachadas, sendo destacados o tempo de voo por bateria, o alcance do controle da aeronave, a qualidade dos vídeos e imagens obtidos, a existência de sensores que impeçam o impacto da aeronave em caso de rajadas de ventos ou perda de sinal e a resistência ao vento. Ressalta-se que, para a realização de levantamentos utilizando RPA, é necessário solicitar a autorização de voo no SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas).

Quadro 3.1 – Exemplos de tipos de RPAs que podem ser utilizados para a inspeções de fachadas.

RPA		Especificação técnica				
		Tempo de voo	Alcance do controle	Qualidade da imagem	Sensor de obstáculos	Resistência ao vento
<b>DJI Phantom 4 Pro V2.0</b>		30 min	10 km	Vídeos 4k e imagens com 20 MP	Possui	Até 10 m/s
<b>DJI Mavic 2 Pro</b>		31 min	8 km	Vídeos 4k e imagens com 20MP	Possui	Até 10 m/s
<b>DJI Mavic 3 Pro</b>		43 min	15 km	Vídeos 4k e imagens com 48 MP	Possui	Até 12 m/s
<b>DJI Mini 3 Pro</b>		34 min	12 km	Vídeos 4k e imagens com 48 MP	Possui	Até 10,7 m/s
<b>DJI Air 2S</b>		31 min	12 km	Vídeos 5.4k e imagens com 20 MP	Possui	Até 10,7 m/s
<b>DJI Inspire 3</b>		28 min	15 km	Vídeos 8k e imagens com 44 MP	Possui	Até 14 m/s

Fonte: DJI (2018, 2021a, 2021b, 2022, 2023a, 2023b).

### 3.2 TRATAMENTO DE IMAGENS

A fotogrametria digital é uma ferramenta essencial para o tratamento das imagens capturadas durante a inspeção. A fotogrametria pode ser definida como a ciência e tecnologia de ser obter informações confiáveis (mapa, modelo tridimensional, entre outros) por meio de imagens adquiridas por sensores (como a câmera fotográfica). Quando se utilizam imagens aéreas, como no caso de uso de RPA, esse método é denominado de aerofotogrametria (AMORIM, 2012; MENDES *et al.*, 2022).

A fotogrametria possui dois objetivos principais: a reconstituição de um espaço tridimensional (espaço-objeto) a partir de um conjunto de imagens bidimensionais (espaço-imagem); e a

obtenção de produtos digitais como ortoimagens ou imagens ortorretificadas ou ortogonalizadas, que consistem em imagens em perspectiva ortogonal, e os mosaicos digitais, que correspondem à junção de várias imagens (COELHO; DE BRITO, 2007). Nesse contexto estão os ortomosaicos, que consistem na junção de várias imagens associada à sua ortogonalização.

O processo de restituição realizado na fotogrametria significa a restauração das formas, dimensões e outras características do objeto, através da utilização de imagens fotográficas, sendo possível obter um documento que resgata a forma exata do edifício (AMORIM, 2012; COSTA, 2014; MELO JÚNIOR *et al.*, 2018). O termo fotogrametria digital se refere à digitalização do processo de fotogrametria, desde a captura de imagens até o processamento de dados e a obtenção dos produtos desejados (AMORIM, 2012).

### 3.2.1 Ortogonalização

A ortogonalização, ou ortorretificação, consiste na transformação de uma imagem fotográfica, que possui características próprias, como mudança de profundidade do objeto e inclinação do eixo da câmera, para uma imagem ortográfica do objeto, como ilustrado na Figura 3.4. Para a fotogrametria, a ortorretificação tem o objetivo de eliminar as deformações de perspectiva, gerando uma nova imagem, sem distorções. A ortogonalização ainda permite encontrar a verdadeira grandeza dos objetos, desde que pelo menos uma grandeza seja conhecida (COELHO; DE BRITO, 2007; MELO JÚNIOR, 2016), o que facilita a quantificação de anomalias.

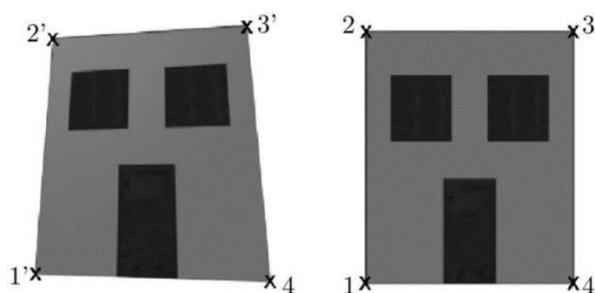


Figura 3.4 – Imagem original, com suas inclinações, e imagem retificada.

Fonte: COELHO; DE BRITO (2007).

A qualidade e a precisão da imagem ortogonalizada estão diretamente relacionadas ao grau de inclinação do eixo óptico da câmera em relação ao plano do objeto, de forma que, quanto menor a inclinação, melhor o resultado (GROETELAARS, 2004 *apud* COSTA, 2014). Por isso, a

obtenção de imagens com RPA é de grande relevância, pois permite a captura de imagens perpendiculares à fachada em edifícios de grande altura (MELO JÚNIOR *et al.*, 2018).

### 3.2.2 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens consiste na obtenção de modelos digitais das fachadas a partir das imagens capturadas com RPA. Para o processamento, são utilizados *softwares* de fotogrametria digital, cujo princípio de funcionamento baseia-se na correspondência estéreo densa (*Dense Stereo Matching – DSM*), que consiste na correlação automática de conjuntos de *pixels* homólogos em fotos distintas, denominados pontos de amarração (*tie points*). Com isso, são obtidas coordenadas tridimensionais e atributos correspondentes à cor visível (componente RGB – *Red, Green e Blue*) de pontos da superfície dos objetos fotografados, gerando a nuvem de pontos, que permite a obtenção do modelo tridimensional e dos ortomosaicos (BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; GROETELAARS; AMORIM, 2012).

Os procedimentos do processamento digital de imagens consistem na obtenção da nuvem de pontos esparsa (alinhamento das imagens), da nuvem de pontos densa, do modelo tridimensional, da textura e, finalmente, do ortomosaico, como exemplifica a Figura 3.5.

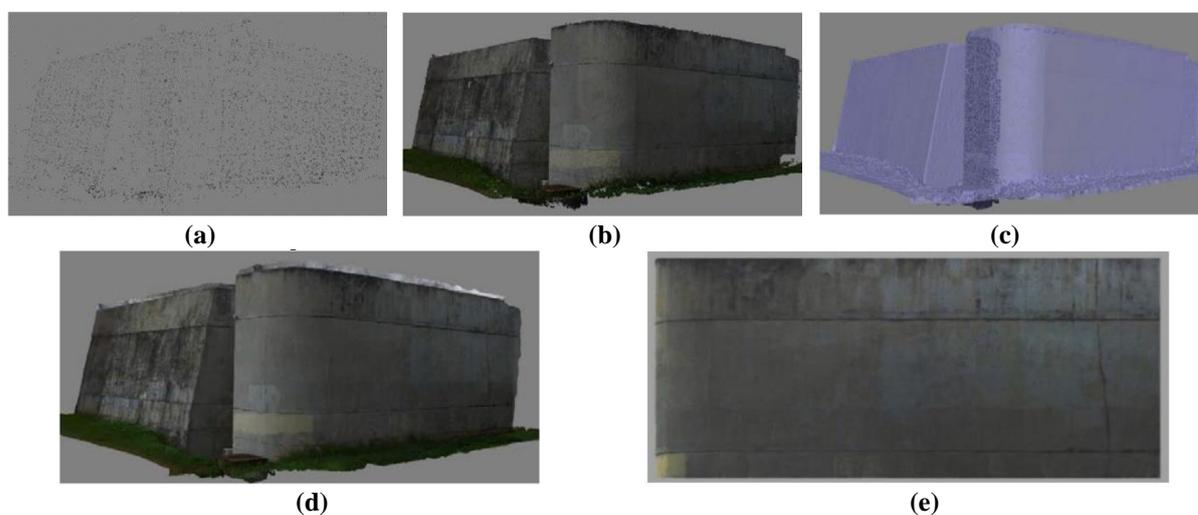


Figura 3.5 – Exemplo de processamento digital de imagens: (a) nuvem de pontos esparsa; (b) nuvem de pontos densa (c) modelo tridimensional de malhas triangulares; (d) modelo texturizado; (e) ortomosaico de uma das fachadas.

Fonte: MELO JÚNIOR *et al.* (2018).

No alinhamento das imagens, os *softwares* comparam pequenas áreas compostas por um conjunto de *pixels* presentes em duas ou mais fotos, formados pelas texturas ou marcas de contraste da superfície do objeto, buscando as melhores correspondências entre as imagens, dando origem à nuvem de pontos esparsa (LIMA; AMORIM; SCHMIDT, 2010; MELO

JÚNIOR, 2016). Na obtenção da nuvem de pontos densa, todos os detalhes geométricos são construídos sobre as imagens alinhadas (MELO JÚNIOR, 2016).

Na construção do modelo de superfície tridimensional, há a transformação dos dados de nuvem de pontos em malhas triangulares (*Triangular Irregular Network – TIN*), que é a forma mais comum de representar esses modelos (MELO JÚNIOR, 2016). O tempo necessário para gerar a nuvem de pontos e o modelo tridimensional depende do número de fotografias e dos parâmetros selecionados para a precisão da geração dos resultados (SIEWCZYŃSKA; ZIOŁO, 2022). Para a aplicação da textura ao modelo, os *softwares* de fotogrametria oferecem diferentes possibilidades para o modo de mapeamento e de mesclagem. E, a partir da obtenção de ortomosaicos, é possível identificar a existência de danos no objeto inspecionado (LIMA, 2019; MELO JÚNIOR, 2016).

### 3.3 MAPEAMENTO DE DANOS

O mapeamento de danos corresponde ao processo de produção de dados para a elaboração do mapa de danos, que, por sua vez, é o documento gráfico que ilustra a realidade e a deterioração verificada em uma edificação em uma determinada data (BARTHEL; LINS; PESTANA, 2009; TINOCO, 2009). O mapa de danos consiste na representação gráfica e sintética dos danos existentes em uma edificação, sendo importante para localizar, identificar, especificar e quantificar as anomalias presentes (Figura 3.6). Quanto à localização, o mapa determina a área ou o ponto exato em que ocorre a anomalia e como se dá sua distribuição na fachada. Em relação à identificação, o mapa auxilia na constatação, comprovação ou reconhecimento da anomalia existente. Na especificação, o mapa pode ajudar a detalhar e particularizar a anomalia, diferenciando os tipos de danos existentes, por exemplo. Quanto à quantificação, o mapa possibilita a mensuração das áreas afetadas (COSTA, 2010; LIMA, 2019).

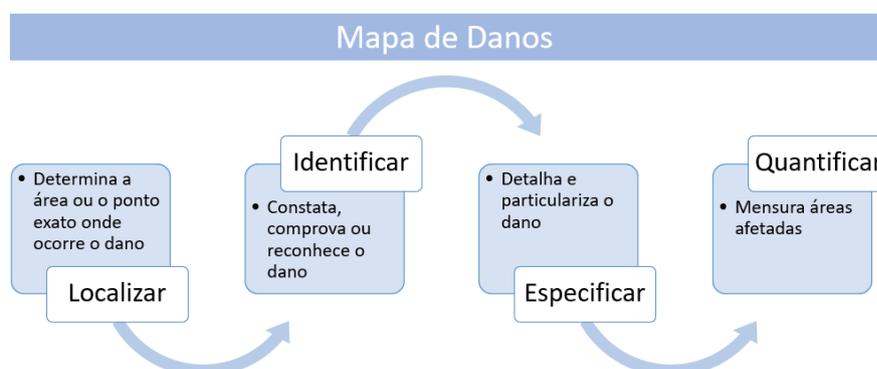


Figura 3.6 – Finalidades do mapa de danos

Fonte: Adaptado de COSTA (2010).

Geralmente, os mapas são representados em plantas e elevações da edificação, sendo os danos ilustrados pela sobreposição de elementos gráficos, como hachuras, cores e símbolos, que sintetizam as informações relacionadas à degradação verificada (COSTA, 2010; COSTA, 2014; MELO JÚNIOR, 2016), como ilustrado nas Figura 3.7 e Figura 3.8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

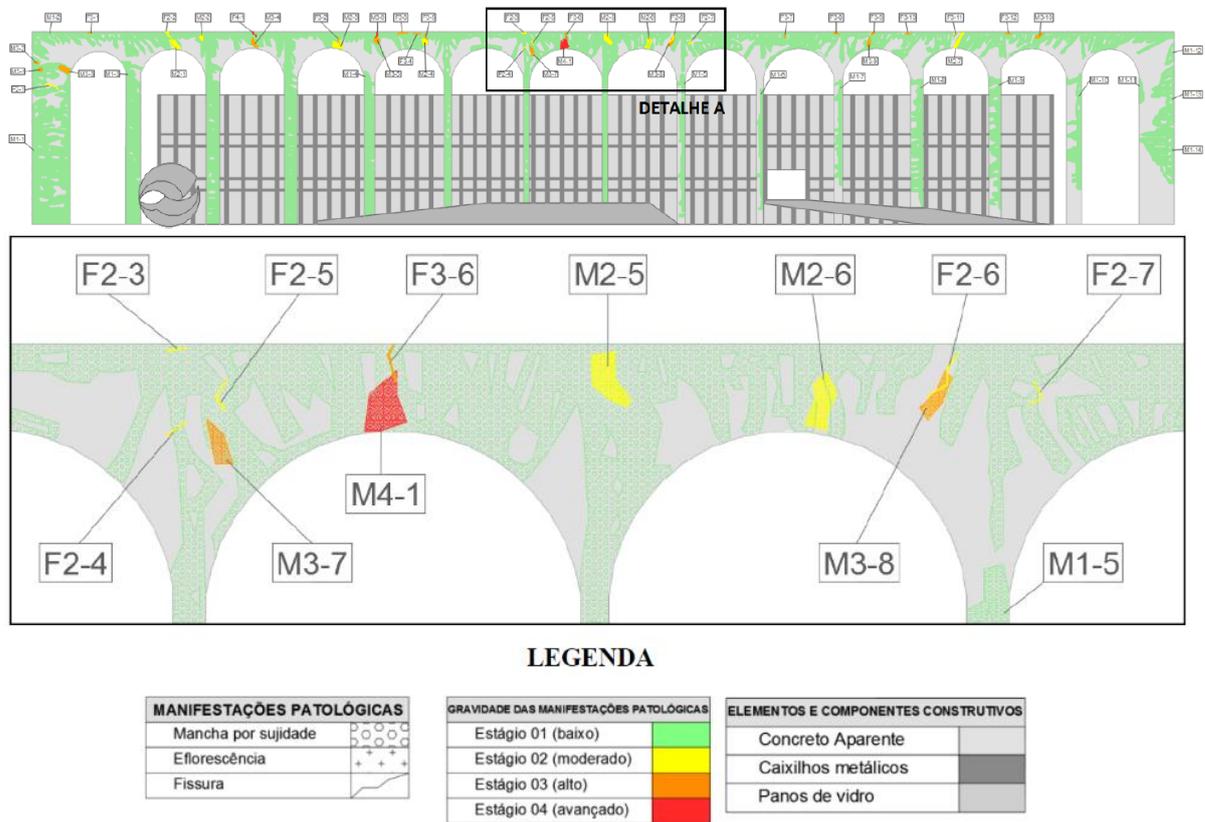


Figura 3.7 – Mapa de danos do Palácio Itamaraty, Brasília – DF.  
Fonte: (CARVALHO, 2018).

É importante diferenciar os mapas de danos elaborados para o estudo da conservação de edificações pertencentes ao patrimônio histórico e os mapas elaborados para o estudo da degradação. Na conservação do patrimônio, o mapa de danos se apresenta como o produto final de análise, sendo mais detalhado, apresentando informações que retratem o estado de conservação da edificação em um determinado momento (BARTHEL; LINS; PESTANA, 2009). No estudo da degradação, o mapa é uma ferramenta inicial de estudo, apresentando a localização e a distribuição das anomalias identificadas na fachada, para uma análise posterior, buscando a quantificação da degradação.

Um exemplo de mapa de danos para o estudo da conservação do patrimônio histórico é apresentado na Figura 3.7. São definidos três diferentes tipos de anomalias (manchas por

sujidade, eflorescência e fissura) e quatro estágios de gravidade (baixa, moderada, alta e avançada), sendo ainda diferenciados os elementos construtivos.

O mapeamento de danos para o estudo da degradação é abordado nos trabalhos de Silva (2014), Souza (2016), Santos (2018), Souza (2019), Piazzarollo (2019), Bauer, Souza e Piazzarollo (2020) e Mota (2021), no escopo do *DMM<sub>Project</sub>*, sendo uma ferramenta essencial para a quantificação da degradação de fachadas utilizando o MMD. No estudo da degradação, os mapas de danos precisam permitir a quantificação das anomalias e, por isso, devem-se seguir as etapas de separação da fachada em amostras, ortogonalização, mapeamento de danos, sobreposição de malha e separação por zonas da fachada, como ilustrado na Figura 3.8 e discutido em seguida.

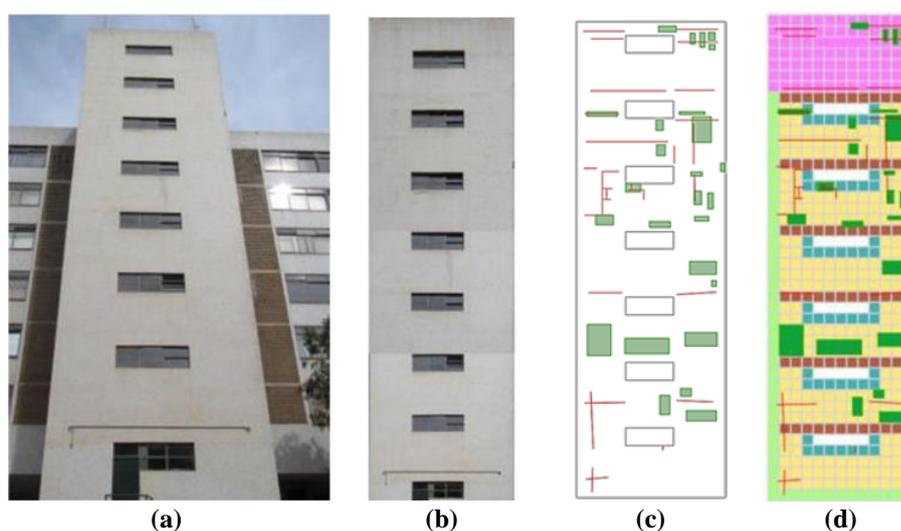


Figura 3.8 – Mapeamento de fachada: (a) imagem digital da amostra; (b) ortogonalização; (c) mapa de danos; (d) sobreposição de malha e separação por zonas da fachada.

Fonte: BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO (2020).

Uma ferramenta utilizada para o mapeamento, é a divisão da fachada em amostras, trabalhando com áreas de menor extensão para facilitar a análise e a quantificação dos danos, analisar variabilidades de degradação, investigar diferenças de exposição, entre outros. Para a análise da fachada utilizando o MMD, áreas muito grandes ou muito pequenas podem levar a resultados não representativos do dano (PIAZZAROLLO, 2019). São consideradas amostras diferentes quando há mudança do tipo de elemento construtivo (empena, prumada e caixa de escada), quando há alteração de plano ou orientação e quando existem descontinuidades na fachada (PIAZZAROLLO, 2019). A Figura 3.9 ilustra a divisão de uma fachada em amostras.

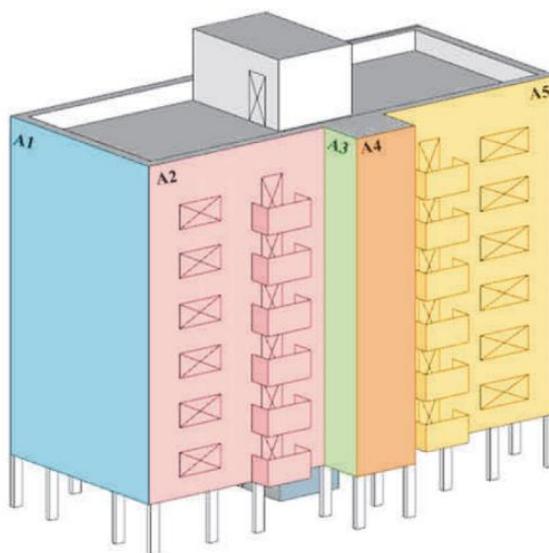


Figura 3.9 – Divisão da fachada em amostras.

Fonte: PIAZZAROLLO (2019).

As imagens obtidas na inspeção de campo são, então, ortogonalizadas, para permitir a quantificação das áreas degradadas, obtendo quantitativos correspondentes às medidas reais da edificação. Além disso, para realizar a quantificação dos danos, é feita a sobreposição de uma malha com aberturas de 0,50 m x 0,50 m, equivalente a uma área de 0,25 m<sup>2</sup>, sobre o mapa de danos, como mostrado na Figura 2.10. Dessa forma, as unidades de área são contabilizadas para cada anomalia identificada (BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020).

As fachadas também são divididas em zonas, com o objetivo de quantificar a degradação em cada uma delas (Figura 2.10 e Figura 3.10), sendo definidas as seguintes regiões: sacadas, topo, aberturas, transição de pavimentos, cantos e extremidades e paredes contínuas. Essa divisão permite a verificação da intensidade e/ou gravidade da degradação associada a cada zona da fachada (PIAZZAROLLO, 2019; SOUZA, 2016).

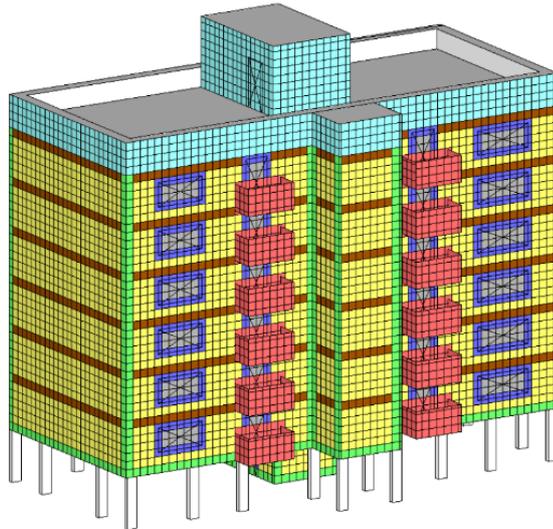


Figura 3.10 – Divisão em zonas.

Fonte: (PINHEIRO, 2016).

O processo de identificação de anomalias para o mapeamento de danos é complexo e depende do conhecimento das formas de manifestação dos danos. No entanto, não há uma padronização de critérios para realizar a identificação, ficando a cargo de cada profissional, o que dificulta ainda mais o processo.

## 4 METODOLOGIA

A presente pesquisa apresenta uma sistematização do mapeamento de danos, propondo critérios de tipologia para a identificação de anomalias pela análise de ortomosaicos (categorização por tipologia). Também é inserida a utilização de RPA para a captura de imagens e o processamento digital de imagens para a obtenção de ortomosaicos das fachadas nas inspeções realizadas dentro do DMM<sub>Project</sub>, como forma de aperfeiçoar o processo de mapeamento. O estudo ainda amplia a base de dados do projeto referente à inspeção de fachadas e à quantificação da degradação, sendo adicionadas 13 amostras.

Busca-se entender: quais as facilidades e dificuldades no uso de RPA para a inspeção de fachadas e qual a qualidade das imagens obtidas; qual a diferença na obtenção de ortomosaicos pelas metodologias de ortogonalização e de processamento digital de imagens; e se os ortomosaicos obtidos apresentam qualidade suficiente para a identificação de anomalias. Outros enfoques são: como a categorização por tipologia pode auxiliar na identificação de anomalias para o mapeamento de danos; como a padronização do processo de mapeamento pode auxiliar na obtenção dos mapas de danos; e se há diferenças na realização do mapeamento de acordo com as características das amostras, quanto ao nível de detalhamento da fachada e à altura do edifício. É analisado, ainda, como se dá a incidência de anomalias nas amostras de fachada estudadas.

A metodologia proposta é dividida em 5 etapas, como apresentado na Figura 4.1, envolvendo o levantamento de dados das edificações, o tratamento dos dados obtidos, a elaboração de critérios para a identificação de anomalias, o mapeamento de danos e a quantificação da degradação.

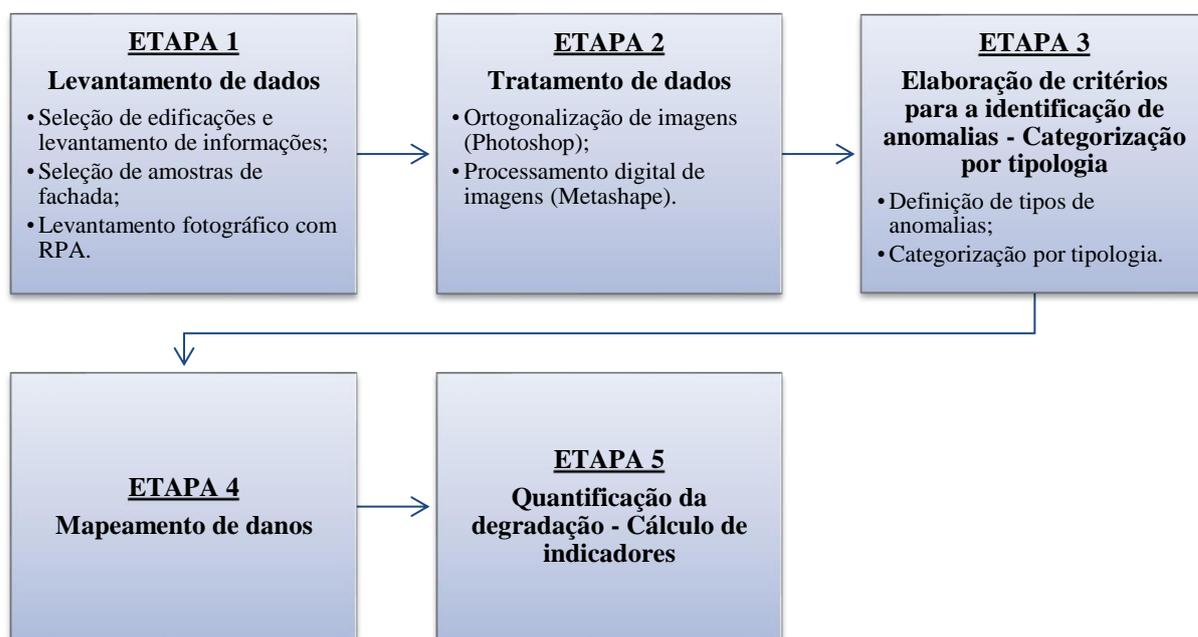


Figura 4.1 – Estrutura da metodologia.

## 4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

### 4.1.1 Seleção de edificações e levantamento de informações

Para a execução do estudo, realiza-se a inspeção de três edifícios localizados no Distrito Federal. Uma condição indispensável para a escolha das edificações é a possibilidade de captura de imagens utilizando RPA (ausência de obstáculos para a realização de voos). Após a seleção dos edifícios, realiza-se o levantamento de dados e informações relevantes para o estudo, como projetos, informações sobre a idade das edificações, as orientações das fachadas e as características do revestimento utilizado. Dos edifícios selecionados, nenhum possui projetos arquivados junto à administração.

As características das edificações inspecionadas são relacionadas no Quadro 4.1. Quanto à altura, são inspecionados dois edifícios baixos (até 6 pavimentos) e um edifício alto (acima de 10 pavimentos). Em uma primeira análise, é feita a observação *in loco* dos edifícios selecionados, verificando suas características e do seu entorno, quanto à existência de obstáculos para a inspeção. Além disso, é realizada a coleta de dimensões de alguns elementos (como largura entre pilares, altura do piso ao primeiro pavimento, dimensões de aberturas, entre outros), com o objetivo de adequar a escala dos ortomosaicos e dos mapas de danos posteriormente.

Quadro 4.1 – Edifícios inspecionados.

<p>(a)</p>  <p><b>Edifício 1</b> <b>Altura:</b> 6 pavimentos (baixo) <b>Idade:</b> 46 anos</p>	<p>(c)</p>  <p><b>Edifício 3</b> <b>Altura:</b> 11 pavimentos (alto) <b>Idade:</b> 11 anos</p>
<p>(b)</p>  <p><b>Edifício 2</b> <b>Altura:</b> 6 pavimentos (baixo) <b>Idade:</b> 46 anos</p>	

#### 4.1.2 Seleção de amostras de fachada

Para obter trechos de menor área e mais homogêneos para o estudo da degradação utilizando o MMD, as fachadas dos edifícios selecionados são divididas em amostras, para então serem selecionadas aquelas a serem estudadas. Os critérios para essa divisão, de acordo com o MMD, são descritos no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Critérios para a divisão da fachada em amostras.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
1	Área entre 50 m <sup>2</sup> e 300 m <sup>2</sup> .
2	A amostra deve estar no mesmo plano e orientação.
3	Se houver juntas de movimentação verticais, o limite da amostra deve coincidir com elas.
4	A amostra deve estar inserida no mesmo elemento arquitetônico (prumada, empena, escada).
5	O limite da amostra deve coincidir com discontinuidades na fachada, caso existam.

Fonte: Adaptado de BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO (2020).

A seleção das amostras é realizada objetivando a formação de um conjunto variado quanto ao nível de detalhamento da fachada (alto, médio, baixo). Um alto nível de detalhamento corresponde a amostras que apresentam uma grande quantidade de detalhes, como janelas, e ainda elementos construtivos projetados em relação ao plano da fachada (Figura 4.2-a). Um médio detalhamento é considerado quando se tem muitos detalhes, mas sem elementos projetados (Figura 4.2-b), e um baixo detalhamento é considerado quando existem poucos elementos na amostra (Figura 4.2-c). A seleção de amostras com diferenças características é realizada para posterior análise das variabilidades no processo de mapeamento.

As amostras selecionadas são listadas no Quadro 4.3 e ilustradas nas Figura 4.3 a Figura 4.5. No Edifício 3, que é alto, são consideradas amostras de fachadas correspondentes à metade da altura do edifício (Figura 4.5), para que não se tenha uma área total muito desproporcional para a análise da degradação. Áreas muito grandes podem levar a resultados de degradação não representativos.

Quadro 4.3 – Características das amostras selecionadas para o estudo.

<b>Edifício</b>	<b>Amostra</b>	<b>Orientação</b>	<b>Elemento construtivo</b>	<b>Nível de detalhamento</b>	<b>Altura</b>	<b>Idade</b>
1	A1.1	Oeste	Prumada	Alto	Baixo	46
1	A1.2	Oeste	Prumada	Médio	Baixo	46
1	A1.3	Oeste	Prumada	Alto	Baixo	46
1	A1.4	Leste	Prumada	Alto	Baixo	46
1	A1.5	Leste	Prumada	Médio	Baixo	46
1	A1.6	Leste	Prumada	Alto	Baixo	46
2	A2.1	Norte	Prumada	Alto	Baixo	46
2	A2.2	Oeste	Empena	Médio	Baixo	46
2	A2.3	Sul	Prumada	Alto	Baixo	46
3	A3.1	Norte	Empena	Baixo	Alto	11
3	A3.2	Norte	Empena	Baixo	Alto	11
3	A3.3	Oeste	Prumada	Médio	Alto	11
3	A3.4	Oeste	Prumada	Médio	Alto	11



Figura 4.2 – Exemplos de fachada: (a) com alto detalhamento; (b) com médio detalhamento; (c) com baixo detalhamento.

Ressalta-se que a variabilidade das amostras escolhidas é limitada pela possibilidade de inspeção utilizando RPA (espaço suficiente para o voo e ausência de obstáculos). No Edifício 1 (Figura 4.3), por exemplo, não há possibilidade de inspeção das empenas, devido à existência de árvores.



Figura 4.3 – Amostras selecionadas no Edifício 1.

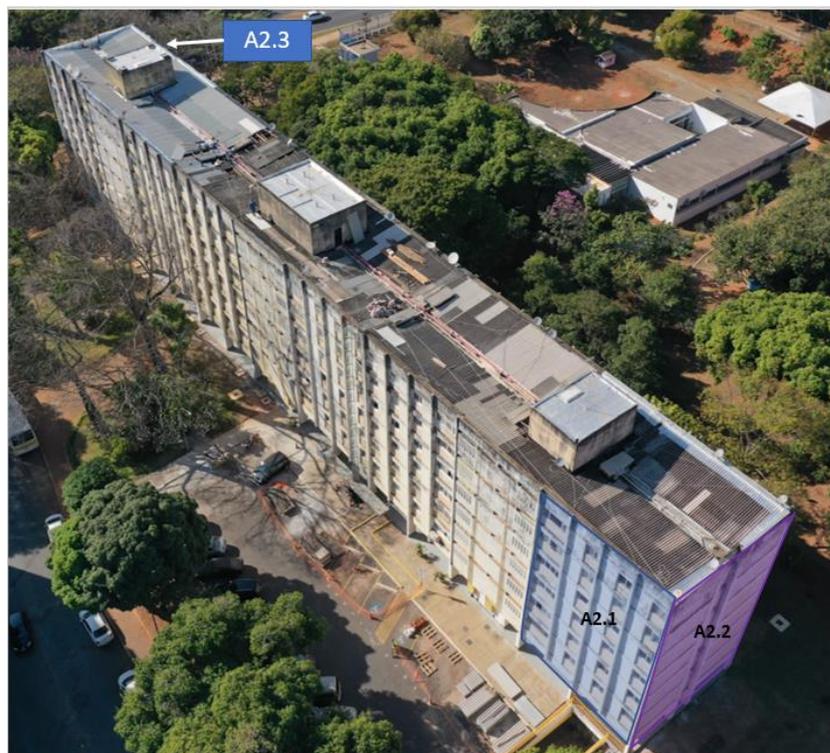


Figura 4.4 – Amostras selecionadas no Edifício 2.



Figura 4.5 – Amostras selecionadas no Edifício 3.

#### 4.1.3 Levantamento fotográfico com RPA

Neste estudo, a técnica de levantamento fotográfico adotada é a captura de imagens utilizando RPA, em que a aeronave utilizada é a *DJI Mavic 2 Pro* (Figura 4.6), cujas especificações mais relevantes são apresentadas no Quadro 4.4. A duração máxima do voo por bateria é de 31 minutos (sem ventos e com uma velocidade constante de 25 km/h). A câmera acoplada à essa RPA possui sensor CMOS de 1” e permite a obtenção de imagens de até 20 MP (DJI, 2018).



Figura 4.6 – RPA utilizada no levantamento fotográfico.

O planejamento do voo é realizado de acordo com as características da aeronave e das fachadas inspecionadas e observando condições meteorológicas favoráveis. Na captura de imagens, são utilizados os parâmetros resumidos no Quadro 4.5 e ilustrados nas Figura 4.7 e Figura 4.8, que estão de acordo com os estudos de Amorim, Silva e Christakou (2012), Groetelaars e Amorim (2012), Melo Júnior (2016), Ballesteros e Lordsleem Júnior (2021).

Quadro 4.4 – Especificações da RPA utilizada.

Especificações DJI Mavic 2 Pro	
Sensor câmera	CMOS 1”
Ângulo de abertura lente da câmera ( $\alpha$ )	77°
Pixels efetivos	20 MP
Tamanho da imagem	5472×3648
Tempo máximo de voo (sem ventos e a 25 km/h)	31 minutos

Fonte: DJI (2018).

Visando a obtenção de imagens de alta qualidade e, ao mesmo tempo, a segurança do voo, é adotada uma distância de 5 metros entre a RPA e a fachada (L). A sobreposição entre fotografias adotada, tanto longitudinal quanto transversal, é de aproximadamente 70%, para garantir a obtenção de seis imagens de cada ponto, considerando o voo em duas direções. Utilizando a Equação 3.1 e considerando que  $\alpha$  é 77°, obtém-se uma distância entre linhas de voo (B) de 2,39 m, garantindo a sobreposição transversal, como ilustrado na Figura 4.8. Já a sobreposição longitudinal depende do controle do piloto. Utilizando a Equação 3.2, calcula-se a relação entre distâncias (R), sendo obtido o valor 0,48, dentro dos limites indicados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Parâmetros para a captura de imagens com RPA.

Parâmetro	Descrição	Parâmetro adotado
Posicionamento entre tomadas fotográficas	Paralelismo entre tomadas fotográficas e perpendicularidade ao plano da fachada (Figura 4.7).	Paralelismo e perpendicularidade
Sobreposição de fotografias (longitudinal e transversal)	Acima de 60%, garantindo que cada parte da superfície seja fotografada pelo menos três vezes.	Aproximadamente 70%
Distância à fachada (L)	No mínimo 3 metros, para garantir a segurança no voo.	L = 5 metros
Distância entre tomadas fotográficas (B)	$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L \cdot (1 - \frac{p}{100})$ (Equação 3.1), em que: B é distância entre tomadas fotográficas (m); L é a distância à fachada (m); $\alpha$ é o ângulo de abertura da lente da câmera (graus); e p é o percentual de sobreposição transversal (%).	B = 2,39 metros
Relação entre distâncias (R)	$R = 0,1 < \frac{B}{L} < 0,5$ (Equação 3.2).	B/L = 0,48
Sequência de captura de imagens	Direção paralela à maior dimensão da fachada.	Sequência vertical

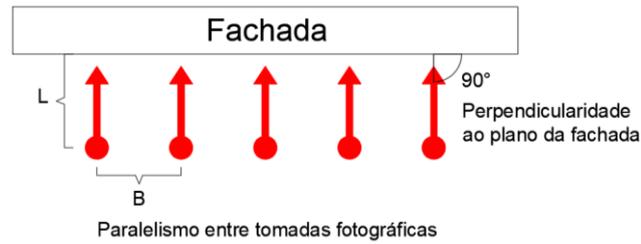


Figura 4.7 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas.

Fonte: LOPES; BAUER; SILVA (2022).

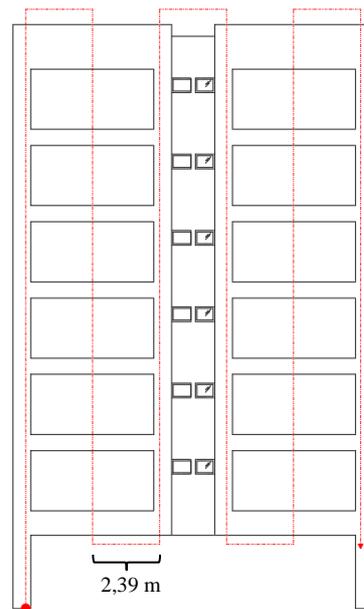


Figura 4.8 – Definição das linhas de voo, com distância de 2,39 m.

Para realizar a captura de imagens, são utilizados cones ou feitas marcações no piso para demarcar os locais das linhas de voo de acordo com o planejamento realizado, como exemplifica a Figura 4.9. Durante o voo, o posicionamento vertical da aeronave é monitorado pelo piloto e por um auxiliar, dado que a presença de ventos tende a movimentar a RPA. Ressalta-se que a sequência de captura de imagens, em todos os casos, é vertical, seguindo o sentido da maior dimensão das amostras de fachadas. A Figura 4.10 ilustra o levantamento realizado.



Figura 4.9 – Exemplo de demarcação dos locais das linhas de voo utilizando cones.



Figura 4.10 – Ilustração do levantamento realizado.

## 4.2 TRATAMENTO DE DADOS

O tratamento das imagens capturadas na inspeção é realizado para se obter os ortomosaicos das amostras de fachadas. Para isso, são utilizadas duas técnicas: a ortogonalização, utilizando o *software* Adobe Photoshop, e o processamento digital de imagens, utilizando o *software* Agisoft Metashape. As etapas para a utilização dos métodos são apresentadas nos Apêndices A e B, respectivamente. O foco é a comparação do uso das duas técnicas, visto que a ortogonalização é um processo amplamente utilizado nas inspeções dentro do *DMM<sub>Project</sub>* e o processamento digital de imagens surge como uma nova ferramenta, a partir da utilização de RPA para a captura de imagens. A obtenção de ortomosaicos é feita para permitir a identificação de

anomalias para o mapeamento de danos. A partir deles, é possível identificar os danos na localização correta e com dimensões e formas que condizem com a realidade.

### **4.3 ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS DE TIPOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS – CATEGORIZAÇÃO POR TIPOLOGIA**

A identificação de anomalias é um processo bastante complexo, sobretudo quando é realizado a partir da análise de imagens ou ortomosaicos de fachadas, sendo necessário o conhecimento do revestimento analisado e dos tipos de anomalias possíveis de se manifestar. Para contribuir com o estudo da degradação, são definidos critérios específicos para auxiliar na identificação de anomalias em revestimentos de argamassa pela análise de ortomosaicos de fachadas. O foco é determinar como as características das anomalias (relativas a posição, extensão, entre outros) direcionam para a sua identificação e o que é mais importante observar. Para isso, são elaboradas matrizes de correlação, nas quais são atribuídos graus de importância de cada característica para um determinado tipo de anomalia.

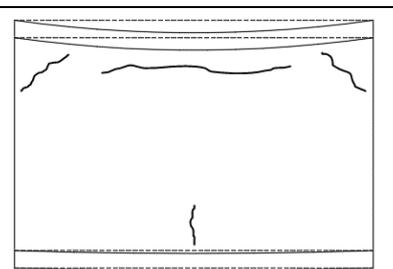
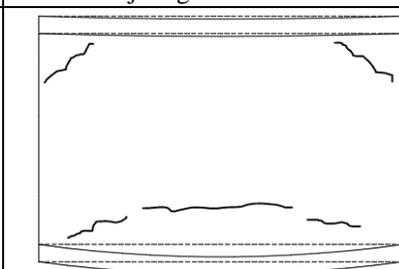
#### **4.3.1 Definição de tipos de anomalias**

Para a elaboração dos critérios de tipificação, são considerados os principais grupos de anomalias em revestimentos de argamassa identificados no Distrito Federal, de acordo com estudos anteriores (BAUER *et al.*, 2013; BAUER *et al.*, 2015; BAUER; KRAUS; SILVA, 2012; MOTA, 2021; PEREIRA, 2007; SANTOS, 2018): fissura (FA), descolamento (DA), mancha (MA), eflorescência (EA), pulverulência (PA) e anomalias na pintura (AP). Os diferentes tipos de anomalias considerados dentro de cada grupo são listados no Quadro 4.6 e ilustrados no Quadro 4.7. As anomalias também são separadas entre estruturais e superficiais. As anomalias consideradas estruturais são fissuras e descolamentos e as anomalias consideradas superficiais são manchas, eflorescência, pulverulência e anomalias na pintura. Quando às fissuras, se observa uma grande quantidade de tipos dessa anomalia, dado os diferentes mecanismos relacionados à sua ocorrência.

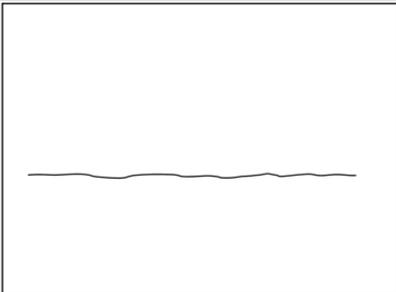
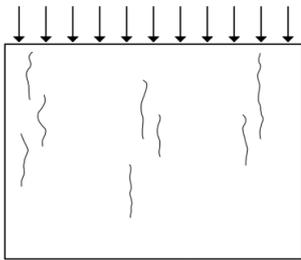
Quadro 4.6 – Tipos de anomalias em revestimentos de argamassa.

<b>ANOMALIAS ESTRUTURAIS</b>	
<b>FISSURAS</b>	
FA01	Fissuras nos vértices de aberturas
FA02	Fissuras generalizadas em malhas grandes
FA03	Fissuras generalizadas em malhas finas
FA04	Fissuras por sarrafeamento precoce
FA05	Fissuras próximas aos vértices da sacada
FA06	Fissuras horizontais, abaixo de laje/viga (último pavimento)
FA07	Fissuras na platibanda
FA08	Fissuras na interface entre laje/viga e alvenaria
FA09	Fissuras na interface entre pilar e alvenaria.
FA10	Fissuras devido à deformação maior da viga/ laje superior
FA11	Fissuras devido à deformação maior da viga/laje inferior
FA12	Fissuras devido a recalque diferencial
FA13	Fissuras inclinadas em paredes contínuas
FA14	Fissuras horizontais em paredes contínuas
FA15	Fissuras verticais em paredes contínuas
FA16	Fissuras inclinadas devido a sobrecarga pontual
FA17	Fissuras decorrentes da presença de umidade
<b>DESCOLAMENTOS</b>	
DA01	Descolamento decorrente de retração do revestimento
DA02	Descolamento devido a fissuração e entrada de água
<b>ANOMALIAS SUPERFICIAIS</b>	
<b>MANCHAS</b>	
MA01	Manchas por acúmulo de água (sujeidades ou micro-organismos)
MA02	Manchas na parede contínua (sujeidades ou micro-organismos)
MA03	Manchas no topo (sujeidades ou micro-organismos)
MA04	Termoforese
<b>EFLORESCÊNCIA</b>	
EA01	Eflorescência
<b>PULVERULÊNCIA</b>	
PA01	Pulverulência
<b>ANOMALIAS NA PINTURA</b>	
AP01	Anomalias na pintura

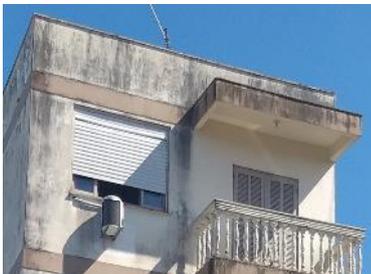
Quadro 4.7 – Ilustrações dos tipos de anomalias em revestimentos de argamassa.

<b>ANOMALIAS ESTRUTURAIS</b>		
<b>FISSURAS</b>		
		
<p>FA01 – Fissuras nos vértices de aberturas.</p>	<p>FA02 – Fissuras generalizadas em malhas grandes.</p>	<p>FA03 – Fissuras generalizadas em malhas finas.</p>
		
<p>FA04 - Fissuras por sarrafeamento precoce.</p>	<p>FA05 – Fissuras próximas aos vértices da sacada.</p>	<p>FA06 - Fissuras horizontais, abaixo de laje/viga (último pavimento).</p>
		
<p>FA07 – Fissuras na platibanda.</p>	<p>FA08 - Fissuras na interface entre laje/viga e alvenaria.</p>	<p>FA09 – Fissuras na interface entre pilar e alvenaria.</p>
		
<p>FA10 – Fissuras devido à deformação maior da viga/ laje superior.</p>	<p>FA11 – Fissuras devido à deformação maior da viga/laje inferior.</p>	<p>FA12 – Fissuras devido a recalque diferencial.</p>

Quadro 4.7 – Ilustrações dos tipos de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

<b>FISSURAS</b>		
		
<p>FA13 – Fissuras inclinadas em paredes contínuas.</p>	<p>FA14 – Fissuras horizontais em paredes contínuas.</p>	<p>FA15 – Fissuras verticais em paredes contínuas.</p>
		
<p>FA16 – Fissuras inclinadas devido a sobrecarga pontual.</p>	<p>FA17 – Fissuras decorrentes da presença de umidade.</p>	
<b>DESCOLAMENTOS</b>		
		
<p>DA01 - Descolamento decorrente de retração do revestimento.</p>	<p>DA02 – Descolamento devido a fissuração e entrada de água.</p>	
<b>ANOMALIAS SUPERFICIAIS</b>		
<b>MANCHAS</b>		
		
<p>MA01 - Manchas por acúmulo de água (sujeidades ou micro-organismos).</p>	<p>MA02 – Manchas na parede contínua (sujeidades ou micro-organismos).</p>	

Quadro 4.7 – Ilustrações dos tipos de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

MANCHAS		
 <p>MA03 - Manchas no topo (sujeidades ou micro-organismos).</p>	 <p>MA04 – Termoforese.</p>	
EFLORESCÊNCIA	PULVERULÊNCIA	ANOMALIAS NA PINTURA
 <p>EA01 – Eflorescência.</p>	 <p>PA01 - Pulverulência ou desagregação.</p>	 <p>AP01 – Fissuras, bolhas ou descolamentos na pintura.</p>

#### 4.3.2 Categorização por tipologia

Os tipos de anomalias considerados são analisados para a definição de critérios de tipologia que permitam a identificação precisa das anomalias, sendo esse método aqui denominado de categorização por tipologia. Para essa investigação, inicialmente, é elaborado um quadro contendo uma breve descrição dos mecanismos de ocorrência e a tipologia das anomalias (como elas se manifestam), como exemplifica o Quadro 4.8. Os mecanismos são descritos com base em diversos estudos, podendo ser citados Thomaz (1989), Magalhães (2002); Sahb (2005), Lubelli, Van Hees e Groot (2006), Pereira (2007), Gaspar (2009), Melo Júnior (2010), Carasek *et al.* (2011), Chai (2011), Puim, Gonçalves e Brito (2012); Marques (2013), Thomaz *et al.* (2014), Sousa, Silva e Sousa (2016), Santos (2017), Santos (2019) e Mota (2021).

Quadro 4.8 – Exemplo genérico do quadro com o levantamento dos mecanismos e tipologia das anomalias analisadas.

<b>ANOMALIAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA</b>			
<b>Tipos de anomalias</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Ilustração</b>
Tipo 1	Posição: Configuração: Agrupamento: Ocorrência: Origem: Elementos próximos:	Descrição do mecanismo	

Quanto à tipologia das anomalias, são considerados os seguintes critérios:

- Posição (geometria): se a anomalia ocorre de forma horizontal, vertical, inclinada ou sem definição exata;
- Configuração: se a anomalia ocorre de forma linear, em malha, por trecho ou em toda a extensão da fachada;
- Agrupamento: se a anomalia ocorre de forma repetitiva, isolada ou aleatória;
- Ocorrência: se a anomalia ocorre de forma localizada ou generalizada;
- Origem: se a anomalia se origina na base (alvenaria ou estrutura), na própria camada de revestimento, ou em elementos adjacentes (elementos estruturais, juntas, detalhes construtivos);
- Elementos próximos: se a anomalia ocorre próximo a pilar, viga, laje, aberturas, juntas, peitoril ou pingadeira, ou se não há definição de elementos específicos próximos à anomalia.

Os critérios são estabelecidos para se entender como as características de posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem e elementos próximos conduzem para a identificação da forma de manifestação das anomalias. Com os critérios definidos, são desenvolvidas matrizes de correlação que associam cada tipo de anomalia com todas as características dentro de cada critério definido, como exemplifica a Tabela 4.1. Para fazer a correlação, é utilizado um parâmetro numérico que estabelece o grau de importância da relação entre cada característica e a ocorrência da anomalia, em que 0 representa baixa ou nenhuma importância, 1 representa uma importância intermediária e 2 representa uma alta importância.

Tabela 4.1 – Exemplo genérico da elaboração das matrizes de correlação.

Tipo Anomalia	Tipologia							Soma Tipos Anomalias (SA)
	Critério 1		Critério 2			...	Critério z	
	Característica 1	Característica 2	Característica 3	Característica 4	Característica 5	...	Característica m	
<b>Tipo 1</b>	p <sub>11</sub>	p <sub>12</sub>	p <sub>13</sub>	p <sub>14</sub>	p <sub>15</sub>	...	p <sub>1m</sub>	SA <sub>1</sub>
<b>Tipo 2</b>	p <sub>21</sub>	p <sub>22</sub>	p <sub>23</sub>	p <sub>24</sub>	p <sub>25</sub>	...	p <sub>2m</sub>	SA <sub>2</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Tipo n</b>	p <sub>n1</sub>	p <sub>n2</sub>	p <sub>n3</sub>	p <sub>n4</sub>	p <sub>n5</sub>	...	p <sub>nm</sub>	SA <sub>n</sub>
<b>Soma Características (SC)</b>	SC <sub>1</sub>	SC <sub>2</sub>	SC <sub>3</sub>	SC <sub>4</sub>	SC <sub>5</sub>	...	C <sub>m</sub>	ST
<b>Relevância relativa (R%)</b>	R <sub>1</sub> %	R <sub>2</sub> %	R <sub>3</sub> %	R <sub>4</sub> %	R <sub>5</sub> %	...	R <sub>m</sub> %	

Para a análise das informações contidas nas matrizes, é realizada a soma nos dois sentidos, obtendo o total para a relação entre cada tipo de anomalia e todas as características (soma no sentido horizontal) e o total para a relação entre cada característica e todos os tipos de anomalias (soma no sentido vertical), conforme as Equações 4.1 e 4.2. A soma de pesos total (ST) também é calculada, conforme a Equação 4.3.

$$SA_n = \sum_1^m p_{ni} \quad (4.1)$$

Em que: SA<sub>n</sub> é a soma dos pesos atribuídos a todas as características, para o tipo de anomalia n; p<sub>ni</sub> é o peso atribuído para a anomalia n, referente à característica i, variando de 1 a m; e m é a quantidade de características.

$$SC_m = \sum_1^n p_{jm} \quad (4.2)$$

Em que: SC<sub>m</sub> é a soma dos pesos atribuídos à característica m, para todos os tipos de anomalia; p<sub>jm</sub> é o peso atribuído para a característica m, referente ao tipo de anomalia j, variando de 1 a n; e n é a quantidade de tipos de anomalias.

$$ST = \sum SA_n = \sum SC_m \quad (4.3)$$

Em que: ST é a soma total dos pesos atribuídos todas as características.

O primeiro índice calculado é o C<sub>SA</sub>% (Equação 4.4), que corresponde às contribuições de cada critério para a soma total de determinada anomalia (SA). O C<sub>SA</sub>% permite verificar os critérios

com mais características que possuam relação de importância alta ou intermediária para a identificação de determinada anomalia.

$$C_{SA}\% = \frac{\sum pc}{SA} \times 100 \quad (4.4)$$

Em que:  $C_{SA}\%$  é a contribuição de determinado critério para SA, para um determinado tipo de anomalia; e  $\sum pc$  é a soma dos pesos atribuídos às características do critério, para um determinado tipo de anomalia.

A relevância relativa (R%) de cada característica também é calculada, conforme a Equação 4.5. Esse índice é representado pelo percentual da soma de pesos de cada característica em relação à soma de pesos total. A partir disso, é possível verificar que características representam maior relevância para identificar as anomalias analisadas.

$$R_m\% = \frac{SC_m}{ST} \times 100 \quad (4.5)$$

Em que:  $R_m\%$  é a relevância relativa da característica m.

A partir das matrizes elaboradas, obtém-se um quadro com a categorização por tipologia de cada tipo de anomalia analisado. Na categorização por tipologia, busca-se apresentar as principais características, dentro de cada critério, para realizar a identificação de cada anomalia pela análise dos ortomosaicos das amostras de fachada.

#### **4.4 MAPEAMENTO DE DANOS**

Para a elaboração dos mapas de danos utilizando o Autodesk AutoCAD, os ortomosaicos são posicionados sobre os croquis, para garantir que as anomalias sejam representadas na posição em que se encontram na fachada. Os ortomosaicos facilitam a localização dos danos, porém, podem fornecer um excesso de informação visual ao mapa. Portanto, ao finalizar a etapa de mapeamento, os ortomosaicos são removidos e o mapa de danos final é apresentado sobre o croqui das fachadas, permitindo uma visualização mais clara dos danos.

Uma padronização para a análise dos ortomosaicos é definida para que se tenha uma homogeneidade nas constatações realizadas, de forma que se possa comparar os resultados obtidos de forma mais confiável. Para isso, é estabelecido um nível de aproximação padrão das imagens a serem analisadas, para que seja efetuada a identificação de anomalias, buscando evitar diferenças na detecção dos danos em situações de imagens mais ou menos aproximadas. Assim, é estabelecida uma aproximação do ortomosaico da fachada que abranja, na vertical, a

altura de um pavimento (geralmente, cerca de 3 metros) e aproximadamente 6 metros na horizontal (ou largura correspondente de acordo com as dimensões do monitor do computador utilizado), como ilustra a Figura 4.11. Essa distância permite uma visualização adequada das anomalias, evitando, no entanto, a identificação de microfissuras ou outras pequenas falhas superficiais que não são representativas no estudo da degradação.

A rotina para a identificação dos danos nas fachadas inspecionadas segue os seguintes procedimentos:

- Análise dos ortomosaicos com o nível de aproximação definido, a partir do primeiro pavimento, seguindo da esquerda para a direita, andar por andar, varrendo toda a amostra.
- Identificação de um grupo de anomalia por vez, para facilitar o levantamento. Para isso, na identificação de cada grupo de anomalia, as *layers* correspondentes aos demais são congeladas, para facilitar a visualização. E, caso ocorra mais de um tipo de anomalia em uma mesma área, todas são identificadas.
- Observação quanto aos critérios de tipologia que caracterizam cada tipo de anomalia (posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem, elementos próximos) para realizar sua identificação.

No mapeamento, as anomalias são primeiramente demarcadas por linhas (fissuras) e polígonos (demais anomalias), sendo estes últimos posteriormente preenchidos por hachuras sólidas.



Figura 4.11 – Aproximação definida para a identificação de anomalias (altura de um pavimento e largura correspondente).

#### 4.5 QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO – CÁLCULO DE INDICADORES

A quantificação dos danos identificados nas fachadas estudadas é realizada a partir da sobreposição de uma malha com aberturas de 0,50 m x 0,50 m (área de 0,25 m<sup>2</sup>) sobre o mapa de danos, para facilitar a contabilização das áreas com anomalias. A sobreposição da malha é feita como exemplificado na Figura 4.12, com ponto inicial de sobreposição no canto inferior esquerdo do mapa.

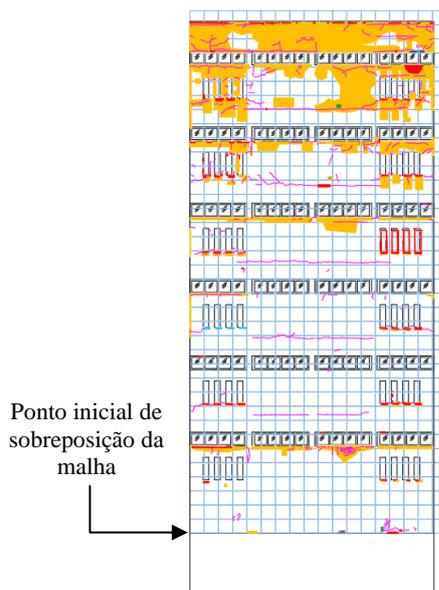


Figura 4.12 – Exemplo de sobreposição de malha ao mapa de danos.

Depois, as amostras de fachada são divididas em pavimentos e em zonas, com o objetivo de quantificar a degradação em cada uma delas. São definidas as seguintes regiões: topo (TO), aberturas (AB), transição de pavimentos (TP), cantos e extremidades (CE) e paredes contínuas (PC). As características de cada região são descritas no Quadro 4.9. Dessa forma, cada unidade de malha é atribuída a uma zona, permitindo a verificação da ocorrência de degradação associada a cada zona da fachada.

Quadro 4.9 – Descrição das diferentes zonas da fachada.

Zona da fachada	Descrição
Aberturas (AB)	Áreas em torno das aberturas (portas e janelas).
Cantos e extremidades (CE)	Áreas de contorno do plano de fachada e de discontinuidades.
Transição entre pavimentos (TP)	Áreas correspondentes a mudanças de pavimentos.
Topo (TO)	Áreas acima do último pavimento, ou seja, platibandas ou paredes que se ergam acima da cobertura do edifício.
Paredes contínuas (PC)	Áreas contínuas de revestimentos sem discontinuidades, ou seja, panos fechados sem aberturas para janelas ou varandas.

Fonte: Adaptado de PIAZZAROLLO (2019).

Após a elaboração dos mapas de danos, são quantificadas as unidades de malha que apresentam cada tipo de anomalia. Uma planilha é utilizada para registro das áreas contabilizadas em cada amostra de fachada, classificando-as por orientação solar, pavimento, zona da fachada e tipo de dano, facilitando o estudo da degradação.

Por fim, são calculados indicadores de degradação que permitem analisar a incidência da degradação nas fachadas. O Fator de Danos (FD) é calculado de acordo com a Equação 4.6, para quantificar a degradação das amostras de fachada, considerando todas as anomalias incidentes. São considerados os grupos de anomalias definidos em estudos anteriores (MOTA, 2021; SANTOS, 2018): fissuras, descolamentos, manchas, eflorescência, pulverulência e anomalias na pintura.

$$FD = \frac{\sum A_{da(n)}}{A_t} \quad (4.6)$$

Em que  $A_{da(n)}$  é a área degradada por uma anomalia  $n$  ( $m^2$ ) e  $A_t$  é a área total da amostra de fachada ( $m^2$ ).

Além disso, é calculado o Fator de Danos da Anomalia ( $FD_a$ ) para cada anomalia, conforme a Equação 4.7, identificando as mais incidentes. A soma do  $FD_a$  de todas as anomalias corresponde ao FD (Equação 4.6).

$$FD_a = \frac{A_{da(n)}}{A_t} \quad (4.7)$$

Calcula-se também o Índice de Frequência de Degradação da zona ( $IFr_{(z)}$ ) para cada zona de fachada, conforme a Equação 4.8, identificando em quais delas a degradação é mais frequente.

$$IFr_{(z)} = \frac{A_{an(z)}}{A_t} \quad (4.8)$$

Em que  $A_{an(z)}$  é a área degradada na zona  $n$  ( $m^2$ ).

## **5 RESULTADOS**

Os resultados obtidos no presente estudo são apresentados e analisados nos próximos tópicos, a partir de cinco vertentes:

- i. Considerações sobre o uso de RPA para a inspeção de fachadas, englobando as facilidades, dificuldades e variabilidades observadas, buscando colaborar para a utilização dessa ferramenta para o levantamento fotográfico;
- ii. Análise dos processos e dos ortomosaicos obtidos para cada metodologia (ortogonalização e processamento digital de imagens), procurando comparar o uso das duas alternativas e contribuir para a obtenção dos ortomosaicos com qualidade satisfatória para a visualização de anomalias;
- iii. Apresentação da categorização por tipologia elaborada para a identificação de anomalias, buscando colaborar para uma maior precisão da detecção dos danos, a partir de critérios específicos;
- iv. Apresentação dos mapas de danos elaborados e análise do processo de mapeamento, considerando a padronização definida, e das variabilidades observadas em função das características das fachadas, para auxiliar na obtenção de mapas de danos mais precisos;
- v. Cálculo e análise da incidência de anomalias nas amostras estudadas, como uma aplicação quantitativa do mapeamento realizado.

### **5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE RPA PARA A INSPEÇÃO DE FACHADAS**

Neste tópico, são apresentadas considerações sobre as facilidades e as dificuldades observadas no uso de RPA para o levantamento fotográfico de fachadas e a qualidade das imagens obtidas, além das variabilidades identificadas em relação às diferentes características das amostras.

#### **5.1.1 Facilidades e dificuldades observadas na inspeção com RPA**

O uso de RPA para a inspeção de fachadas de edifícios se mostra bastante eficiente e apresenta vantagens em comparação com o método tradicional de obtenção de imagens a partir do solo. As principais facilidades e dificuldades identificadas durante a inspeção com RPA são apresentadas no Quadro 5.1. Com o uso dessa ferramenta, observa-se uma maior facilidade e agilidade na captura de imagens, além da possibilidade de obtenção de fotos bem próximas e aproximadamente perpendiculares ao plano da fachada em qualquer altura. O uso de RPA

facilita a visualização das partes mais altas das edificações, que, na inspeção tradicional, fica prejudicada pelo ângulo de inclinação. O visor no controle da aeronave permite visualizar cada captura de imagem.

Quadro 5.1 – Facilidades e dificuldades observadas na inspeção com RPA.

<b>Inspeção com RPA</b>	
<b>Facilidades</b>	<b>Dificuldades</b>
Imagens próximas e perpendiculares à fachada em qualquer altura	Presença de obstáculos (árvores)
Visualização de todas as partes da fachada	Baixa duração das baterias (cerca de 25 min)
Imagens com qualidade satisfatória para a visualização de anomalias	Restrição em relação às condições meteorológicas (chuva, ventos fortes)
Facilidade e rapidez na aquisição de imagens	Dificuldade em manter a trajetória de voo (manual)

A proximidade e a perpendicularidade na captura resultam na obtenção de imagens de qualidade satisfatória, como exemplificado na Figura 5.1, o que permite a visualização das anomalias presentes. As imagens capturadas apresentam resolução de 5472 x 3648 pixels, equivalente a 20 MP, conforme configuração da RPA utilizada.

O tempo de aquisição das imagens também é reduzido com o uso de RPA, pois a aeronave permite uma movimentação ágil e a visualização pelo controle facilita a captura. Apesar de terem sido selecionadas apenas algumas amostras de fachada para a investigação proposta no presente estudo, nas inspeções realizadas, são levantadas todas as fachadas do Edifício 3, a fachada oeste completa e boa parte da fachada leste do Edifício 1 e apenas as três amostras de fachada selecionadas do Edifício 2 (devido à presença de obstáculos). O tempo total do levantamento realizado no Edifício 3 é de cerca de 1 hora, no Edifício 1 é de aproximadamente de 2 horas e, no Edifício 2, é de cerca de 23 minutos. Nas amostras investigadas, são observados tempos de captura de imagens entre 5 e 12 minutos por amostra, sendo observada uma média de 2 segundos por metro quadrado (0:00:02/m<sup>2</sup>) (Tabela 5.1). Destaca-se que as amostras A3.1 e A3.2, assim como as amostras A3.3 e A3.4 são levantadas em um único voo, como apresentado na Tabela 5.1, por estarem uma mesma fachada.

A quantidade de fotos obtidas para cada amostra também é exposta na Tabela 5.1. O levantamento das amostras A3.1 e A3.2 pode ser destacado pela baixa quantidade de fotos, apesar da grande área. Na inspeção dessa amostra, a presença de ventos atrapalhou a manutenção da trajetória planejada e a captura de imagens.

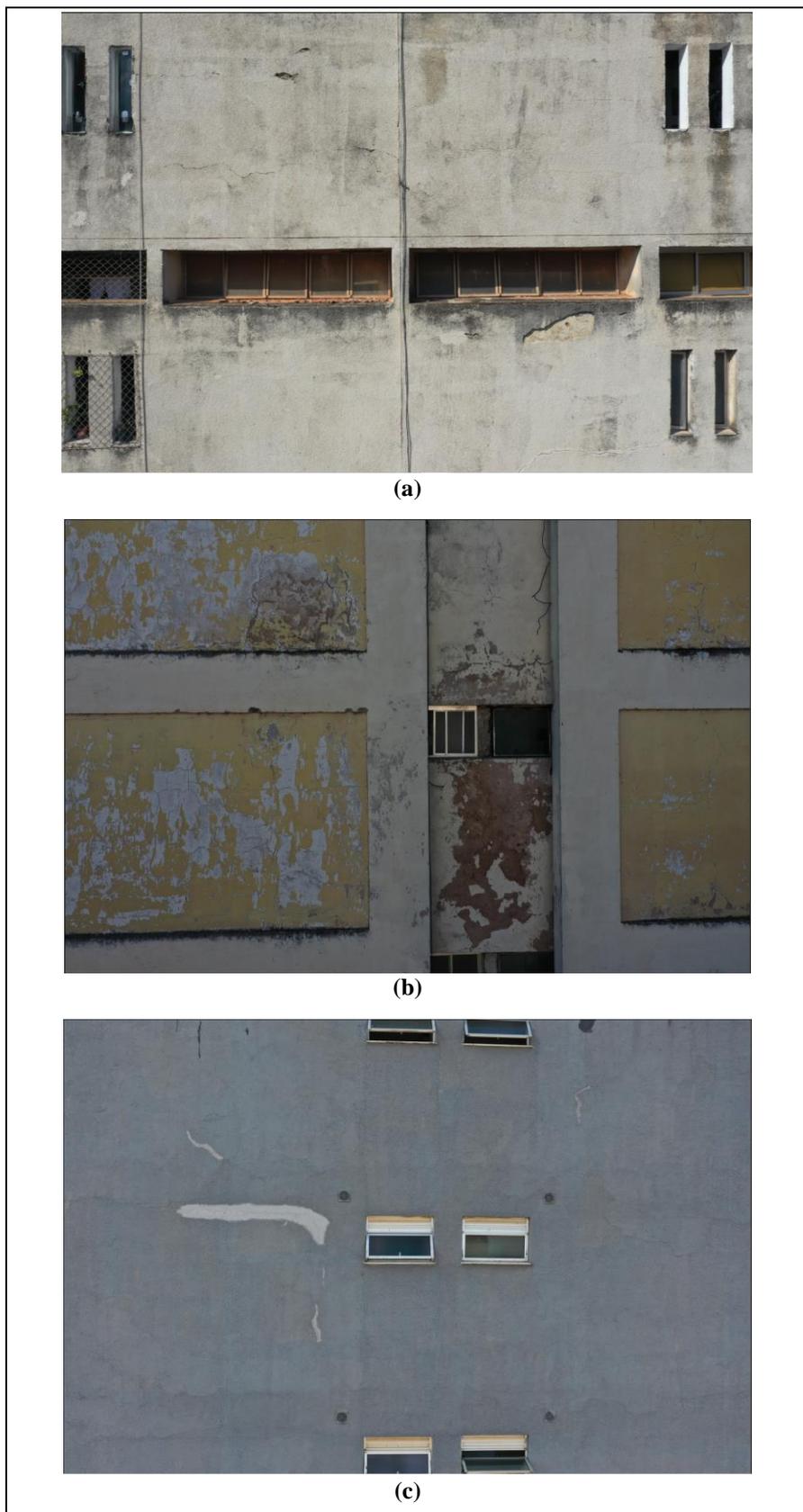


Figura 5.1 – Exemplos de imagens capturadas com RPA: (a) Edifício 1; (b) Edifício 2; (c) Edifício 3.

Tabela 5.1 – Dados do levantamento fotográfico realizado para as amostras investigadas.

Edifício	Amostra	Área (m <sup>2</sup> )	Duração do voo (h)	Quantidade Fotos
1	A1.1	212,95	0:07:00	127
	A1.2	154,95	0:05:00	94
	A1.3	212,95	0:06:00	102
	A1.4	212,95	0:07:00	106
	A1.5	154,95	0:11:00	107
	A1.6	212,95	0:08:00	93
2	A2.1	212,95	0:06:00	95
	A2.2	220,27	0:08:00	137
	A2.3	212,95	0:09:00	128
3	A3.1	321,60	0:08:00	66
	A3.2			
	A3.3	288,95	0:12:00	110
	A3.4			
<b>Média</b>			<b>0:00:02/m<sup>2</sup></b>	<b>0,51 foto/m<sup>2</sup></b>
			<b>29,00 m<sup>2</sup>/min</b>	<b>2,20 m<sup>2</sup>/foto</b>

Quanto à presença de obstáculos no entorno da edificação (árvores, postes, fiação, entre outros), observa-se, nos edifícios do plano piloto de Brasília – DF (Edifícios 1 e 2), uma grande presença de árvores em seu entorno, sendo este um fator que dificulta a utilização de RPA. No caso das edificações estudadas, constata-se a impossibilidade de voo em boa parte das fachadas, principalmente do Edifício 2, sendo este um fator decisivo na escolha das amostras a serem analisadas. Quanto a isso, destaca-se que a presença de árvores também limita a visualização da fachada na inspeção tradicional.

Nas inspeções realizadas, é observada a duração de cerca de 25 minutos para cada bateria, considerando a existência de ventos durante os levantamentos. Nesse período, é possível levantar uma área de aproximadamente 725,00 m<sup>2</sup>, de acordo com a média observada para as amostras investigadas (29,00 m<sup>2</sup>/min). A baixa duração das baterias reduz o tempo de levantamento e exige paradas para a substituição.

Em relação às condições meteorológicas, destaca-se a impossibilidade de realização de voos em dias chuvosos e com ventos fortes. Observa-se, ainda, a necessidade de experiência do piloto na inspeção de fachadas, uma vez que todo o controle das linhas de voo e da captura de imagens é realizada por esse profissional. A manutenção de uma trajetória linear muitas vezes é dificultada pela presença de ventos durante o voo. Com isso, também se observa a importância

de um auxiliar na orientação do piloto quanto ao trajeto da aeronave. No entanto, como nem o voo, nem a captura de imagens é automática, ainda ocorrem desvios da trajetória planejada.

### 5.1.2 Variabilidades na inspeção com RPA de acordo com as características das amostras

As amostras de fachada analisadas no presente estudo apresentam diferenças quanto à altura do edifício (alto ou baixo) e ao nível de detalhamento (alto, médio ou baixo). As variabilidades na inspeção com RPA, de acordo com essas características, estão relacionadas principalmente com a dificuldade em controlar a trajetória da aeronave durante o levantamento (Quadro 5.2).

Quadro 5.2 – Dificuldade em controlar a trajetória da RPA de acordo com as características da amostra.

Dificuldade em controlar a trajetória da RPA		
	Altura do Edifício	Nível de detalhamento da fachada
+	Alto	Baixo
↓		Médio
-	Baixo	Alto

Quanto à altura do edifício, observa-se uma maior dificuldade em controlar a trajetória de voo planejada no edifício mais alto (Edifício 3) e uma menor dificuldade nos edifícios mais baixos (Edifícios 1 e 2). Isso ocorre por ser mais difícil a visualização da posição da aeronave em maiores alturas pelo auxiliar do piloto. Em relação ao nível de detalhamento da fachada, percebe-se que amostras com um maior detalhamento apresentam mais elementos que podem auxiliar no controle da trajetória da RPA, o que é mais difícil em fachadas com poucos detalhes.

## 5.2 ORTOMOSAICOS

Nesta seção, é realizada uma análise dos processos e dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização e por processamento digital de imagens, comparando as duas técnicas. Os produtos obtidos por ortogonalização, utilizando o *software* Adobe Photoshop, para todas as amostras estudadas, são apresentados no Apêndice C. Já os ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens, utilizando o *software* Agisoft Metashape, constam no Apêndice D. Na Figura 5.2, apresenta-se um exemplo de ortomosaico obtido por cada técnica.



Figura 5.2 – Ortomosaicos da Amostra A1.2, obtidos por: (a) ortogonalização; (b) processamento digital de imagens.

### 5.2.1 Comparação das técnicas em relação ao processo de obtenção e à qualidade dos ortomosaicos

O processo de construção dos ortomosaicos utilizando ortogonalização é bastante manual e demanda cautela para realizar os cortes e a montagem adequada das imagens parciais, minimizando as falhas de colagem. Além disso, é um processo que exige uma grande quantidade de tempo, justamente pelo seu aspecto manual e minucioso, demandando em média cerca de 4 horas por amostra ou 1 minuto e 8 segundos por metro quadrado (0:01:08/m<sup>2</sup>). A partir desse processo, são obtidos ortomosaicos de qualidade satisfatória (Figura 5.3), com mínimas falhas nos locais de colagem das imagens parciais, como detalha a Figura 5.4. A resolução média dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização é de 1,20 mm/pixel (Tabela 5.2).

Destaca-se que os ortomosaicos das amostras A3.1 e A3.2, assim como das amostras A3.3 e A3.4, por constituírem uma mesma fachada, são construídos em um único processo para ambas as metodologias, e a separação das amostras é realizada em seguida.

Tabela 5.2 – Resolução dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização.

Amostra	Área (m <sup>2</sup> )	Resolução (mm/pixel)
A1.1	212,95	1,16
A1.2	154,95	1,15
A1.3	212,95	1,17
A1.4	212,95	1,17
A1.5	154,95	1,27
A1.6	212,95	1,17
A2.1	212,95	1,21
A2.2	220,27	1,17
A2.3	212,95	1,08
A3.1		
A3.2	321,60	1,37
A3.3		
A3.4	288,95	1,27
<b>Média</b>		<b>1,20</b>



Figura 5.3 – Exemplificação da qualidade e do nível de detalhe dos ortomosaicos obtidos por ortogonalização (Amostra A2.1).

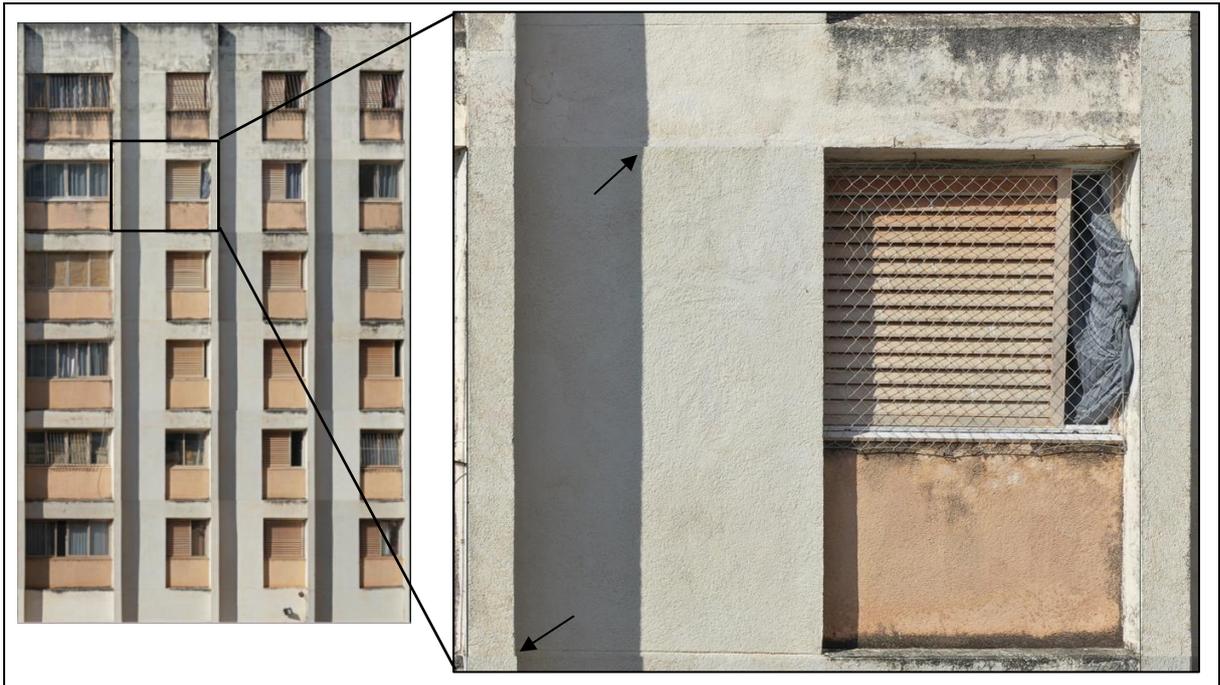


Figura 5.4 – Exemplo de linhas de colagem nos ortomosaicos obtidos por ortogonalização (Amostra A1.1).

No processamento digital de imagens, o processo é realizado de forma mais automática, necessitando apenas de conhecimento na utilização das ferramentas do *software*. Esse processo também pode demandar bastante tempo, devido à alta qualidade das imagens e dos produtos obtidos, o que exige muito do processador e da memória RAM do computador. Os tempos dos processamentos realizados neste estudo são expostos na Tabela 5.3 (as especificações dos computadores utilizados constam no Apêndice B, Tabela B.1). Observa-se uma média de cerca de 3 horas e 11 minutos por amostra, ou 55 segundos por metro quadrado (0:00:55/m<sup>2</sup>).

Os ortomosaicos obtidos por processamento também apresentam qualidade satisfatória, quando os parâmetros de planejamento de voo e de execução da captura de imagens são seguidos, como exemplifica a Figura 5.5. Os ortomosaicos obtidos por essa metodologia apresentam, em média, resolução de 1,18 mm/pixel (Tabela 5.3). Uma sobreposição adequada entre as tomadas fotográficas é essencial para obter bons resultados. No entanto, algumas falhas ainda podem ser observadas nos locais em que a fachada apresenta elementos projetados em relação ao plano da fachada e em janelas, como detalha a Figura 5.6-a. Outras imperfeições na construção dos ortomosaicos são decorrentes de falhas durante a captura de imagens (Figura 5.6-b), que é realizada de forma manual pelo piloto da RPA. Os desvios da trajetória definida e a captura sem a sobreposição planejada resultam em falhas no processamento das imagens.

Tabela 5.3 – Resultados do processamento digital de imagens.

Amostra	Área (m <sup>2</sup> )	Computador	Qualidade nuvem densa/ modelo	Tempo (h)	Resolução (mm/pixel)
A1.1	212,95	2	Alta/ Alta	3:02:23	1,18
A1.2	154,95	2	Alta/ Alta	2:52:55	0,79
A1.3	212,95	1	Alta/Alta	2:50:13	1,12
A1.4	212,95	2	Alta/ Alta	4:14:49	1,22
A1.5	154,95	1	Alta/Alta	2:01:11	1,16
A1.6	212,95	1	Alta/ Alta	4:44:55	1,25
A2.1	212,95	1	Alta/ Alta	4:52:37	1,17
A2.2	220,27	1	Alta/ Alta	2:34:31	1,16
A2.3	212,95	1	Alta/ Alta	3:08:37	1,13
A3.1	321,60	2	Alta/ Alta	1:56:00	1,35
A3.2					
A3.3	288,95	1	Alta/ Alta	2:48:36	1,41
A3.4					
<b>Média/amostra</b>				<b>3:11:32</b>	<b>1,18</b>
<b>Média/m<sup>2</sup></b>				<b>0:00:55/m<sup>2</sup></b>	



Figura 5.5 – Exemplificação da qualidade e do nível de detalhe dos ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens (Amostra A2.1).

A qualidade dos ortomosaicos, permitindo a visualização detalhada de anomalias, reforça a importância do uso de RPA para a captura de imagens mais próximas e perpendiculares às fachadas. Um ponto importante a se destacar é que o processamento digital de imagens facilita e melhora o processo de obtenção de ortomosaicos, por ser menos trabalhoso e reduzir a

possibilidade de erros por parte do profissional. No entanto, em alguns casos, as falhas obtidas no processamento podem ser maiores do que no processo manual de ortogonalização, devido a erros durante o levantamento. Assim, para minimizar essas falhas, deve-se ficar atento à realização da captura de imagens, que é fundamental para a obtenção de resultados satisfatórios. Mas, em geral, ambas as técnicas levam a resultados adequados, não havendo prejuízo na utilização de uma ou outra. No Quadro 5.3, é exposto um resumo da comparação entre as metodologias.



Figura 5.6 – Exemplos de falhas nos ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens: (a) Amostra A1.6; (b) Amostra A3.2.

Quadro 5.3 – Comparação entre metodologias de obtenção de ortomosaicos.

Características	Metodologia	
	Ortogonalização	Processamento digital de imagens
Tipo de processo	Manual	Automatizado
Possibilidade de erros humanos	Elevada	Mínima
Dificuldade do processo	Processo trabalhoso	Processo simples
Tempo de obtenção dos ortomosaicos	Elevado (em média 0:01:08/m <sup>2</sup> )	Elevado (em média 0:00:55/m <sup>2</sup> )
Dependência do processo de levantamento (distâncias, sobreposição, entre outros)	Média	Elevada
Tipos de falhas	Demarcação de linhas de colagem	Falhas em contornos, elementos projetados, janelas; falhas decorrentes de problemas no levantamento de imagens
Resolução dos ortomosaicos	Satisfatória (em média 1,20mm/pixel)	Satisfatória (em média 1,18mm/pixel)

### 5.2.2 Variabilidades na obtenção dos ortomosaicos em relação às características das amostras

O processo de obtenção dos ortomosaicos por ortogonalização apresenta diferenças relacionadas às características das amostras, quanto à altura do edifício e ao nível de detalhamento da fachada. Em relação à altura, destaca-se que, apesar das amostras do Edifício 3 (mais alto) terem sido definidas com a metade da altura do edifício (A3.1, A3.2, A3.3 e A3.4), a obtenção dos ortomosaicos é realizada para a altura completa e depois separada nas referidas amostras. Dessa forma, o edifício mais alto possui fachadas com área maior do que os edifícios mais baixos. Como apresentado no Quadro 5.4, quanto maior a altura do edifício, maior morosidade no processo de ortogonalização. Devido à maior área, são mais imagens a serem recortadas, ortorretificadas e coladas para a obtenção do ortomosaico. Por outro lado, no processamento digital de imagens, não é possível fazer uma relação direta da altura do edifício com o processo de obtenção dos ortomosaicos, para as amostras estudadas. Porém, pode haver variabilidade caso sejam inspecionadas fachadas de edifícios ainda mais altos e com maior área, que podem resultar em uma quantidade maior de fotografias para serem processadas.

Quanto ao nível de detalhamento da fachada (Quadro 5.5), observa-se que, quanto maior o detalhamento, mais referências as amostras apresentam para que sejam realizados os cortes das imagens parciais para a montagem dos ortomosaicos na ortogonalização, o que facilita esse processo. No entanto, o maior detalhamento também evidencia mais as linhas de colagem, por

haver mais detalhes que necessitam se encaixar. No processamento digital de imagens, por sua vez, não foi identificada nenhuma variabilidade nas amostras estudadas.

Quadro 5.4 – Variabilidades relacionadas à altura do edifício.

Altura do edifício	Ortogonalização		Processamento digital de imagens
	Morosidade do processo		
Alto	+		Variabilidade não identificada
	↓		
Baixo	-		

Quadro 5.5 – Variabilidades relacionadas ao nível de detalhamento da fachada.

Nível de detalhamento da fachada	Ortogonalização		Processamento digital de imagens
	Facilidade para realizar cortes das imagens parciais	Expressividade das falhas de colagem	
Alto	+	+	Variabilidade não identificada
Médio	↓	↓	
Baixo	-	-	

### 5.3 CRITÉRIOS DE TIPOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS PELA ANÁLISE DOS ORTOMOSAICOS

O detalhamento dos tipos de anomalias considerados para os revestimentos em argamassa é apresentada no Apêndice E. Para cada tipo de anomalia, é apresentada sua caracterização, envolvendo uma breve descrição, sua tipologia (quanto a posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem e elementos próximos) e seu mecanismo de ocorrência. A partir dessas informações, são obtidas matrizes de correlação que associam as anomalias às características físicas (tipologia) que auxiliam na sua identificação, sendo realizada uma análise separada entre anomalias estruturais e superficiais.

#### 5.3.1 Matriz Anomalias estruturais x Critérios de tipologia

A matriz de correlação entre anomalias estruturais e critérios de tipologia é apresentada na Tabela 5.4, contendo o grau de importância de cada característica para a identificação da anomalia, em que 0 representa baixa ou nenhuma importância, 1 representa uma importância intermediária e 2 representa uma alta importância. As considerações sobre os índices calculados são discutidas em seguida.

Tabela 5.4 – Matriz de correlação entre anomalias estruturais e características físicas, para revestimentos em argamassa.

ANOMALIAS ESTRUTURAIS																									
Tipo Anomalia	Tipologia																						SA		
	Posição				Configuração				Agrupamento			Ocorrência		Origem			Elementos próximos								
	Horizontal	Vertical	Inclinada	Sem definição	Linear	Malha	Por trecho	Em toda a extensão	Repetitivo	Isolado	Aleatório	Localizada	Generalizada	Base	Revestimento	Elementos adjacentes	Pilar	Viga	Laje	Aberturas	Juntas	Peitoril/Pingadeira		Sem definição	
FA01	1	1	2	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	14	
FA02	0	0	0	2	0	2	1	1	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	14	
FA03	0	0	0	2	0	2	1	1	2	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	15	
FA04	0	0	0	2	2	1	1	1	1	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	16	
FA05	0	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	2	14	
FA06	2	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	2	1	1	0	2	0	2	2	0	0	0	0	17	
FA07	2	0	1	0	2	0	0	0	1	2	0	2	1	1	0	2	0	2	2	0	0	1	1	20	
FA08	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	1	0	2	0	2	2	1	0	0	0	16	
FA09	0	2	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	13	
FA10	2	1	1	0	2	0	0	0	1	2	0	2	0	1	0	2	0	2	2	0	0	0	0	18	
FA11	2	0	1	0	2	0	0	0	1	2	0	2	0	1	0	2	0	2	2	0	0	0	0	17	
FA12	0	0	2	0	2	0	0	0	2	1	0	2	1	0	0	2	2	0	0	2	0	0	1	17	
FA13	0	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	13	
FA14	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	13	
FA15	0	2	0	0	2	0	0	0	2	1	0	2	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	2	16	
FA16	0	0	2	0	2	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	12	
FA17	1	1	1	2	2	0	0	0	1	1	2	1	1	0	2	0	0	1	0	1	0	2	1	20	
DA01	0	0	0	2	0	0	2	1	1	2	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	15	
DA02	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	2	1	14	
SC	14	7	14	12	30	5	7	4	15	29	4	31	12	16	12	19	4	15	12	7	0	5	20	294	
R%	4,8	2,4	4,8	4,1	10,2	1,7	2,4	1,4	5,1	9,9	1,4	10,5	4,1	5,4	4,1	6,5	1,4	5,1	4,1	2,4	0,0	1,7	6,8		

Legenda: 0 - baixa ou nenhuma importância; 1 - importância intermediária; 2 - alta importância.

(a) Contribuições de cada critério para cada tipo de anomalia estrutural ( $C_{SA}\%$ )

Os valores de SA obtidos, para cada anomalia estrutural, são expostos na Tabela 5.4 e as contribuições de cada critério para SA ( $C_{SA}\%$ ) de cada anomalia são apresentadas na Figura 5.7. O índice  $C_{SA}\%$  permite identificar que critério possui mais características com importância alta ou intermediária que podem ser associadas à manifestação de cada tipo de anomalia.

Observa-se que o critério posição é o que apresenta maior contribuição na soma da anomalia FA01 (28,6%), possuindo três características (inclinada, horizontal e vertical) com importância alta ou intermediária para a identificação dessa anomalia (Tabela 5.4). Os demais critérios apresentam apenas uma característica com alta importância para FA01.

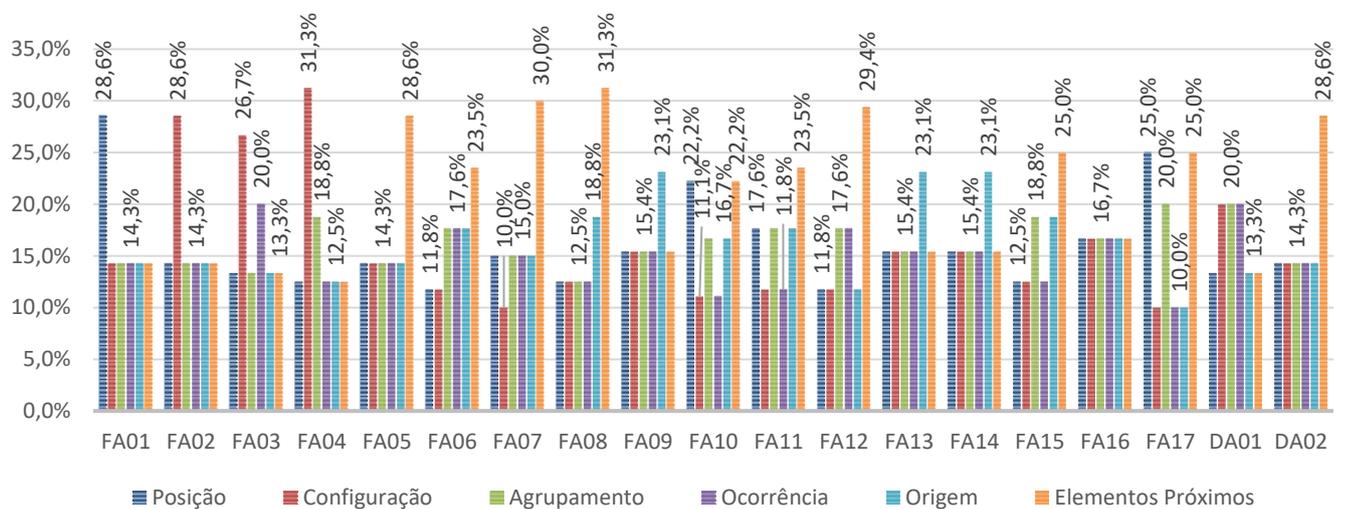


Figura 5.7 –  $C_{SA}\%$  de cada critério para cada tipo de anomalia estrutural.

O critério configuração apresenta maior relevância na soma das anomalias FA02 (28,6%), FA03 (26,7%) e FA04 (31,3%), o que também pode ser explicado pela existência de três características (em malha, por trecho e em toda a extensão) com importância alta ou intermediária para a identificação dessas anomalias (Tabela 5.4).

O critério origem apresenta uma maior relevância para a soma das anomalias FA09 (23,1%), FA13 (23,1%) e FA14 (23,1%), possuindo duas características (base e elementos adjacentes) com importância alta ou intermediária para a sua identificação (Tabela 5.4). Os demais critérios apresentam apenas uma característica com alta importância para essas anomalias.

Para o critério elementos próximos, pode ser observada maior contribuição na soma das anomalias FA05 (28,6%), FA06 (23,5%), FA07 (30,0%), FA08 (31,3%), FA11 (23,5%), FA12 (29,4%), FA15 (25,0%) e DA02 (28,6%), que apresentam de duas a quatro características com importância alta ou intermediária para a identificação dessas anomalias (Tabela 5.4). Para FA05

e FA15, são vigas, lajes ou “sem definição”. Para FA06 e FA11, são vigas e lajes. Para FA07, são vigas, lajes, peitoris/pingadeiras ou “sem definição”. Para FA08, são vigas, lajes e aberturas. Para FA12, são pilares, aberturas ou “sem definição”. E, para DA02, são aberturas, peitoris/pingadeiras ou “sem definição”.

As anomalias FA10, FA16, FA17 e DA01 não apresentam um critério que se destaque com maior relevância para sua identificação. Para FA10, há uma equivalência entre os critérios posição e elementos próximos (22,2%). Para FA16, todos os critérios possuem a mesma contribuição (16,7%). Para FA17, os critérios mais relevantes são posição e elementos próximos (25,0%). Para DA01, os critérios configuração, agrupamento e ocorrência aparecem com maior contribuição em relação aos demais (20,0%).

*(b) Relevâncias relativas (R%)*

As relevâncias relativas (R%), obtidas a partir dos valores de SC são apresentadas na Figura 5.8. Esse índice permite observar as características com maior peso na soma total, ou seja, aquelas que apresentam mais relações de importância alta ou intermediária para a identificação das anomalias estruturais. Observa-se que as maiores relevâncias são da ocorrência localizada (R% = 10,5%), da configuração linear (R% = 10,2%) e do agrupamento isolado (R% = 9,9%), sendo essas as principais características que podem ser observadas na identificação das anomalias estruturais. É importante destacar que os índices mencionados são obtidos a partir da matriz de correlação apresentada na Tabela 5.4, a partir do estudo realizado, e não correspondem a dados obtidos em campo.

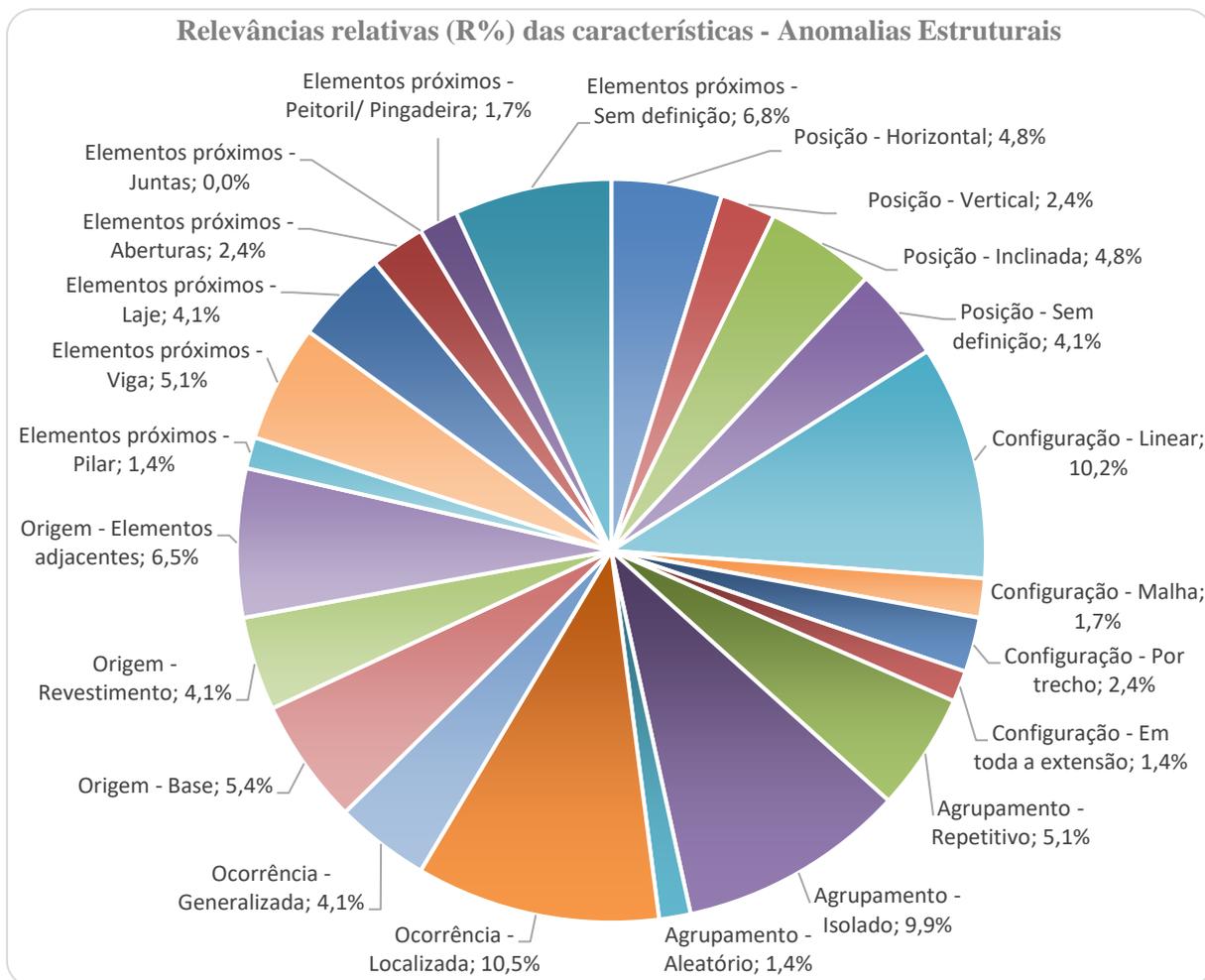


Figura 5.8 – Relevâncias relativas das características para anomalias estruturais.

### 5.3.2 Matriz Anomalias superficiais x Critérios de tipologia

A matriz de correlação entre anomalias superficiais e critérios de tipologia é apresentada na Tabela 5.5, contendo o grau de importância da relação entre cada característica e a ocorrência da anomalia, em que 0 representa baixa ou nenhuma importância, 1 representa uma importância intermediária e 2 representa uma alta importância. As considerações sobre os índices calculados são discutidas em seguida.

Tabela 5.5 – Matriz de correlação entre anomalias superficiais e características físicas, para revestimentos em argamassa.

ANOMALIAS SUPERFICIAIS																								
Tipo Anomalia	Tipologia																							SA
	Posição				Configuração				Agrupamento			Ocorrência		Origem			Elementos próximos							
	Horizontal	Vertical	Inclinada	Sem definição	Linear	Malha	Por trecho	Em toda a extensão	Repetitivo	Isolado	Aleatório	Localizada	Generalizada	Base	Revestimento	Elementos adjacentes	Pilar	Viga	Laje	Aberturas	Juntas	Peitoril/Pingadeira	Sem definição	
MA01	0	0	0	2	0	0	2	1	1	2	0	2	0	0	2	1	0	1	0	1	1	2	0	18
MA02	0	0	0	2	0	0	1	1	2	1	1	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	15
MA03	0	0	0	2	0	0	1	1	2	0	1	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	1	15
MA04	0	0	0	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	12
EA01	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	1	2	1	1	2	0	0	0	0	1	1	1	2	18
PA01	0	0	0	2	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	1	2	16
AP01	0	0	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	13
SC	0	0	0	14	0	0	9	7	9	7	5	8	9	1	14	1	1	2	0	3	2	5	10	107
R%	0,0	0,0	0,0	13,1	0,0	0,0	8,4	6,5	8,4	6,5	4,7	7,5	8,4	0,9	13,1	0,9	0,9	1,9	0,0	2,8	1,9	5,6	8,4	

Legenda: 0 - baixa ou nenhuma importância; 1 - importância intermediária; 2 - alta importância.

(a) Contribuições de cada critério para cada tipo de anomalia superficial ( $C_{SA}\%$ )

Os valores de SA obtidos, para cada anomalia superficial, são expostos na Tabela 5.5 e as contribuições de cada critério para SA ( $C_{SA}\%$ ) são apresentadas na Figura 5.9. Observa-se que o critério agrupamento é o que apresenta maior relevância para a soma das anomalias MA02 (26,7%) e AP01 (23,1%), possuindo as três características com importância alta ou intermediária para a identificação dessas anomalias (Tabela 5.5).

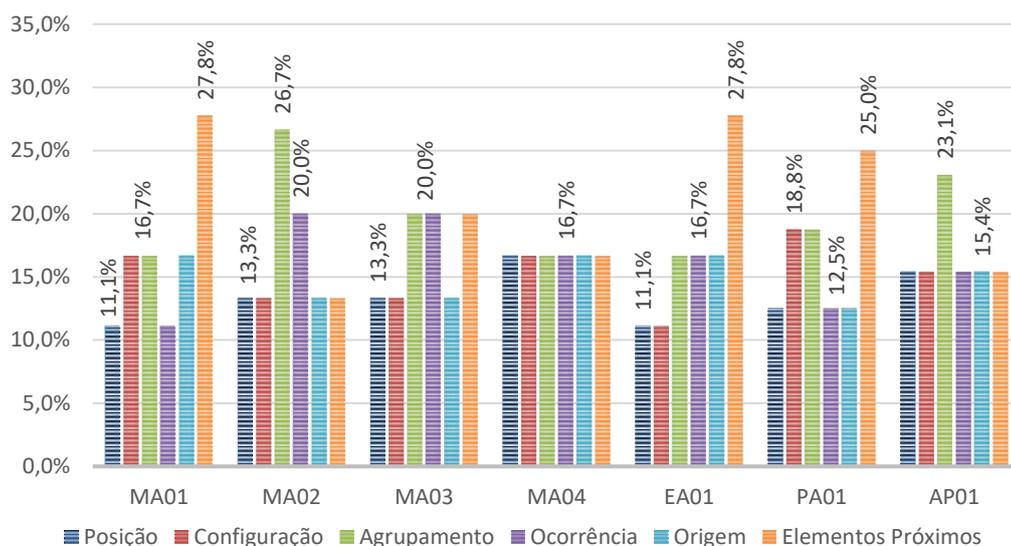


Figura 5.9 –  $C_{SA}\%$  de cada critério para cada tipo de anomalia superficial.

O critério elementos próximos possui maior contribuição na soma das anomalias MA01 (27,8%), EA01 (27,8%) e PA01 (25,0%), que apresentam de três a quatro características com importância alta ou intermediária para a identificação dessas anomalias (Tabela 5.5). Para MA01, são peitoris/pingadeiras, juntas, aberturas e vigas. Para EA01, são peitoris/pingadeiras, juntas, aberturas e “sem definição”. E, para PA01, são peitoris/pingadeiras, aberturas e “sem definição”. As anomalias MA03 e MA04 não possuem um critério que se destaque com maior relevância para sua identificação, sendo que, para MA03, há um empate entre os critérios agrupamento, ocorrência e elementos próximos (20,0%) e, para MA04, todos os critérios apresentam a mesma contribuição (16,7%).

(b) Relevâncias relativas ( $R\%$ )

As relevâncias relativas ( $R\%$ ), obtidas a partir dos valores de SC são apresentadas na Figura 5.10. As características com maior relevância são a posição “sem definição” e a origem no revestimento ( $R\% = 13,1\%$ ), que são comuns a todas as anomalias superficiais, representando as principais características que podem ser observadas na identificação dessas anomalias. É importante destacar que os índices mencionados são obtidos a partir da matriz de correlação

apresentada na Tabela 5.5, a partir do estudo realizado, e não correspondem a dados obtidos em campo.

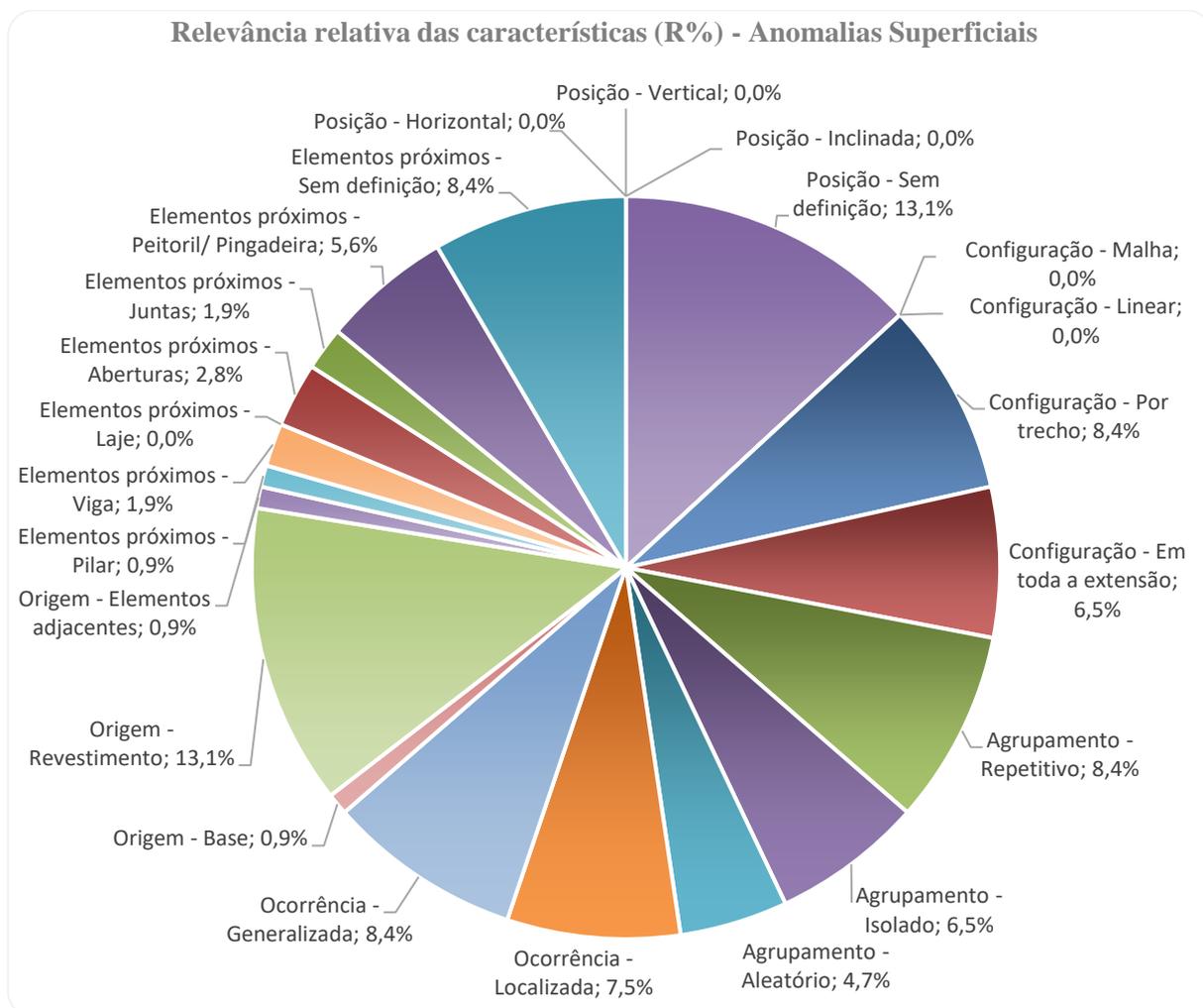


Figura 5.10 – Relevâncias relativas das características para anomalias superficiais.

### 5.3.3 Categorização por tipologia

A partir da análise das matrizes de correlação elaboradas, é realizada a categorização por tipologia das anomalias investigadas, como apresentado no Quadro 5.6. A categorização é o resultado de toda a análise realizada e possui aplicação direta para auxiliar na definição da tipologia das anomalias a partir da análise de imagens. Ela é aplicada, posteriormente, para a identificação de anomalias pela análise dos ortomosaicos obtidos.

Quadro 5.6 – Categorização por tipologia para a identificação de anomalias.

ANOMALIAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA							
Tipo Anomalia		Tipologia					
		Posição	Configuração	Agrupamento	Ocorrência	Origem	Elementos próximos
FA01	Aberturas	Inclinada	Linear	Isolado	Localizada	Base	Aberturas
FA02	Malha grande	Sem definição	Malha (grande)	Repetitivo	Generalizada	Revestimento	Sem definição
FA03	Malha fina	Sem definição	Malha (fina)	Repetitivo	Generalizada	Revestimento	Sem definição
FA04	Sarrafeamento	Sem definição	Linear	Aleatório	Generalizada	Revestimento	Sem definição
FA05	Sacada	Inclinada	Linear	Isolado	Localizada	Base	Sem definição
FA06	Último pavimento	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga, laje (abaixo da cobertura)
FA07	Platibanda	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga/ laje (platibanda)
FA08	Interface viga	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga/ laje (interface)
FA09	Interface pilar	Vertical	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Pilar
FA10	Viga superior	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga/ laje (superior)
FA11	Viga inferior	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga/ laje (inferior)
FA12	Recalque	Inclinada	Linear	Repetitivo	Localizada	Elementos adjacentes	Pilar/ aberturas
FA13	Inclinada PC	Inclinada	Linear	Isolado	Localizada	Base	Sem definição
FA14	Horizontal PC	Horizontal	Linear	Isolado	Localizada	Base	Sem definição
FA15	Vertical PC	Vertical	Linear	Repetitivo	Localizada	Base	Sem definição
FA16	Sobrecarga pontual	Inclinada	Linear	Isolado	Localizada	Elementos adjacentes	Viga
FA17	Umidade	Sem definição	Linear	Aleatório	Localizada/ generalizada	Revestimento	Peitoril/pingadeira
DA01	Retração	Sem definição	Por trecho	Isolado	Generalizada	Revestimento	Sem definição
DA02	Fissuração e umidade	Sem definição	Por trecho	Isolado	Localizada	Revestimento	Peitoril/ pingadeira

Quadro 5.6 – Categorização por tipologia para a identificação de anomalias (continuação).

ANOMALIAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA							
Tipo Anomalia		Tipologia					
		Posição	Configuração	Agrupamento	Ocorrência	Origem	Elementos próximos
MA01	Acúmulo umidade	Sem definição	Por trecho	Isolado	Localizada	Revestimento (cor escura)	Peitoril/ pingadeira
MA02	Parede contínua	Sem definição	Por trecho/ em toda a extensão	Repetitivo	Generalizada	Revestimento (cor escura)	Sem definição
MA03	Topo	Sem definição	Por trecho/ em toda a extensão	Repetitivo	Generalizada	Revestimento (cor escura)	Peitoril/ pingadeira
MA04	Termoforese	Sem definição	Em toda a extensão	Repetitivo	Generalizada	Revestimento (cor escura)	Pilar, viga
EA01	Eflorescência	Sem definição	Por trecho	Isolado	Localizada	Revestimento (cor branca)	Sem definição
PA01	Pulverulência	Sem definição	Por trecho	Repetitivo/ aleatório/ isolado	Localizada/ generalizada	Revestimento	Sem definição
AP01	Pintura	Sem definição	Por trecho/ em toda a extensão	Repetitivo/ aleatório/ isolado	Localizada/ generalizada	Revestimento (na pintura)	Sem definição

Na categorização por tipologia, são apresentadas as características mais relevantes para cada anomalia, dentro de cada critério, para realizar sua identificação. Para isso, são consideradas as características que apresentam relação de alta importância (peso 2) para a identificação de cada anomalia, conforme matrizes de correlação (Tabela 5.4 e Tabela 5.5). Em alguns casos, quando determinados critérios não possuem características com alta importância, mas duas ou mais características com importância intermediária (peso 1), consideram-se as ambas as características para a categorização.

A identificação utilizando o Quadro 5.6 pode ser realizada após uma análise preliminar das anomalias associada às ilustrações apresentadas no Quadro 4.7 (item 4.3.1), além de ter como apoio as matrizes de correlação. Observa-se, no Quadro 5.6, que são utilizadas informações para diferenciar alguns tipos de anomalias que apresentam características principais semelhantes, para que a identificação possa ser realizada de forma adequada. As fissuras dos tipos FA02 e FA03 apresentam as mesmas características principais. No entanto, há uma diferença na configuração dessas anomalias que não é expressa pelos critérios utilizados: a fissura FA02 se apresenta em malhas grandes, enquanto a fissura FA03 se apresenta em malhas finas.

As fissuras dos tipos FA06, FA07, FA08, FA10 e FA11 também são representadas pelas mesmas características principais, conforme os critérios estabelecidos. Uma diferenciação pode ser feita pelos elementos próximos dessas anomalias (lajes e vigas). A fissura FA06 ocorre próximo a vigas e lajes da cobertura, se manifestando abaixo desses elementos. A fissura FA07 também se manifesta próximo a vigas e lajes da cobertura, mas ocorre na platibanda. A fissura FA08, por sua vez, se apresenta na interface entre a alvenaria e os elementos estruturais vigas e lajes. A fissura FA10 ocorre próximo às vigas e lajes superiores, enquanto a fissura FA11 se manifesta próximo às vigas e lajes inferiores.

Da mesma forma, as manchas, a eflorescência e as anomalias na pintura podem ser confundidas pelas características semelhantes apresentadas na categorização elaborada. Porém, essas anomalias podem ser diferenciadas pela forma como se manifestam no revestimento. As manchas apresentam cor escura (preto, marrom, cinza) e a eflorescência apresenta cor branca. Já as anomalias na pintura, como a própria nomenclatura deixa claro, ocorrem na camada de pintura do revestimento, podendo ser descolamentos, fissuras ou bolhas.

Complementarmente, é definida uma sequência de verificação dos critérios para facilitar a identificação de anomalias, conforme apresentado na Figura 5.11: posição; configuração;

agrupamento; ocorrência; origem; elementos próximos. A sequência determinada permite analisar, primeiramente, aspectos físicos das anomalias que facilitam sua diferenciação das demais (posição, configuração, agrupamento), seguido de aspectos adicionais que podem auxiliar na sua identificação (ocorrência, origem e elementos próximos).

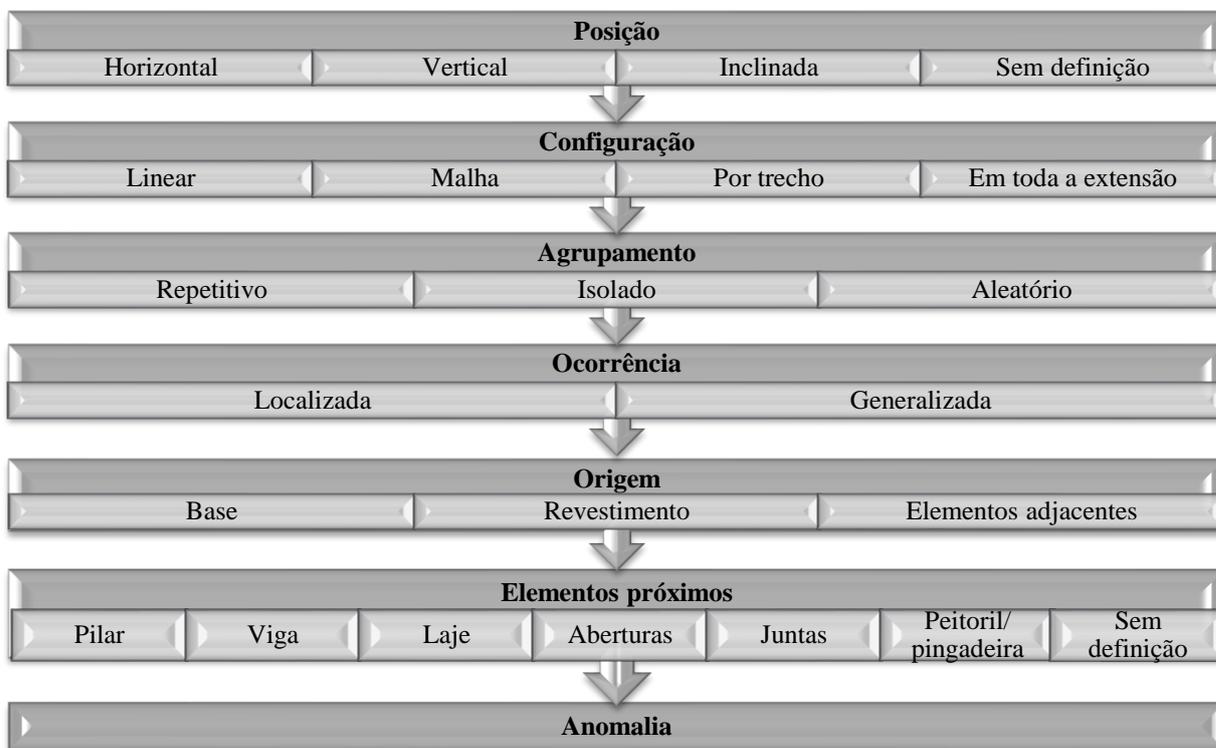


Figura 5.11 – Sequência de verificação dos critérios para a identificação de anomalias.

O início da identificação pelo critério posição se deve a esse ser um dos primeiros aspectos a ser visualizado em uma anomalia. Os critérios configuração e agrupamento vêm logo em seguida, por também serem de visualização imediata. A ocorrência pode ser analisada na sequência, verificando a forma de manifestação da anomalia no contexto do trecho analisado. Depois, a análise do critério origem se dá pelo conhecimento do mecanismo de ocorrência da anomalia. E, por último, os elementos próximos podem auxiliar na definição do tipo de anomalia em questão. Todos os enfoques discutidos são levados em consideração na identificação das anomalias a partir da análise dos ortomosaicos das amostras de fachada analisadas.

#### 5.4 MAPEAMENTO DE DANOS

Neste tópico, são apresentados os mapas de danos obtidos, as variabilidades observadas no processo de mapeamento em função das diferenças entre as amostras e as considerações sobre os procedimentos adotados.

### 5.4.1 Mapas de danos

Os mapas de danos obtidos para as amostras analisadas são apresentados nas Figura 5.12 a Figura 5.24 e as anomalias identificadas em cada amostra de fachada são listadas no Quadro 5.7. Pode ser observado que, em nenhuma das amostras investigadas, foi identificada a ocorrência das anomalias FA05, FA06, FA10, FA11, FA12, FA15, FA16, DA01 e MA04.

Quadro 5.7 – Anomalias identificadas em cada amostra de fachada investigada.

ANOMALIAS		AMOSTRAS												
		A1.1	A1.2	A1.3	A1.4	A1.5	A1.6	A2.1	A2.2	A2.3	A3.1	A3.2	A3.3	A3.4
FA01	Aberturas	x	x	x	x	x	x				x	x		
FA02	Malha grande	x						x	x					
FA03	Malha fina	x		x			x			x				
FA04	Sarrafeamento				x							x		
FA05	Sacada													
FA06	Último pavimento													
FA07	Platibanda	x	x	x	x		x			x				
FA08	Interface viga	x	x	x	x	x	x				x	x		
FA09	Interface pilar										x	x		
FA10	Viga superior													
FA11	Viga inferior													
FA12	Recalque													
FA13	Inclinada PC			x						x				
FA14	Horizontal PC	x	x		x	x	x	x						
FA15	Vertical PC													
FA16	Sobrecarga pontual													
FA17	Umidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x
DA01	Retração													
DA02	Fissuração e umidade	x	x		x		x	x						
MA01	Acúmulo umidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
MA02	Parede contínua	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
MA03	Topo	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
MA04	Termoforese													
EA01	Eflorescência	x												
PA01	Pulverulência		x					x	x	x				
AP01	Pintura	x	x					x	x	x				x

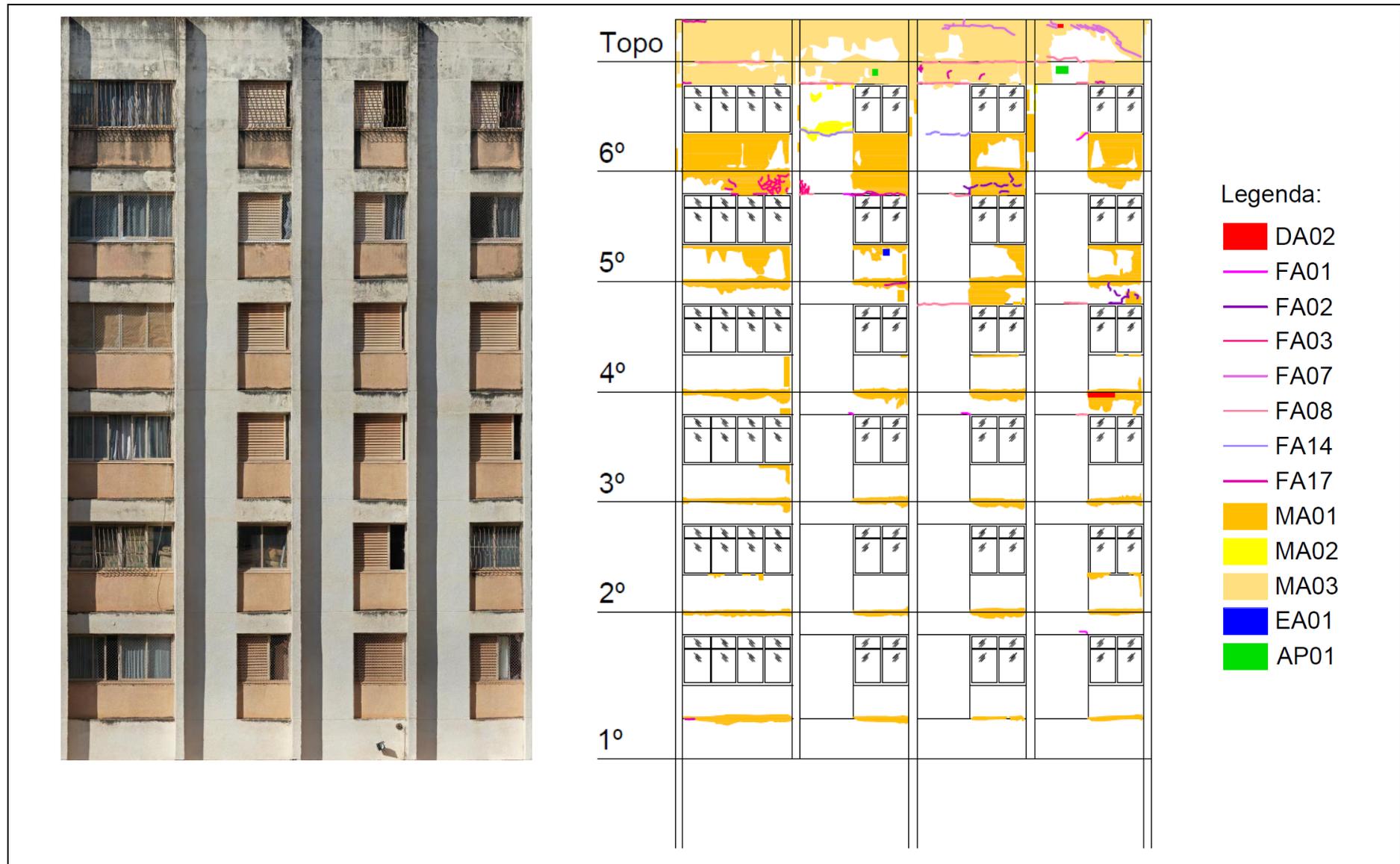


Figura 5.12 – Mapa de danos da Amostra A1.1.

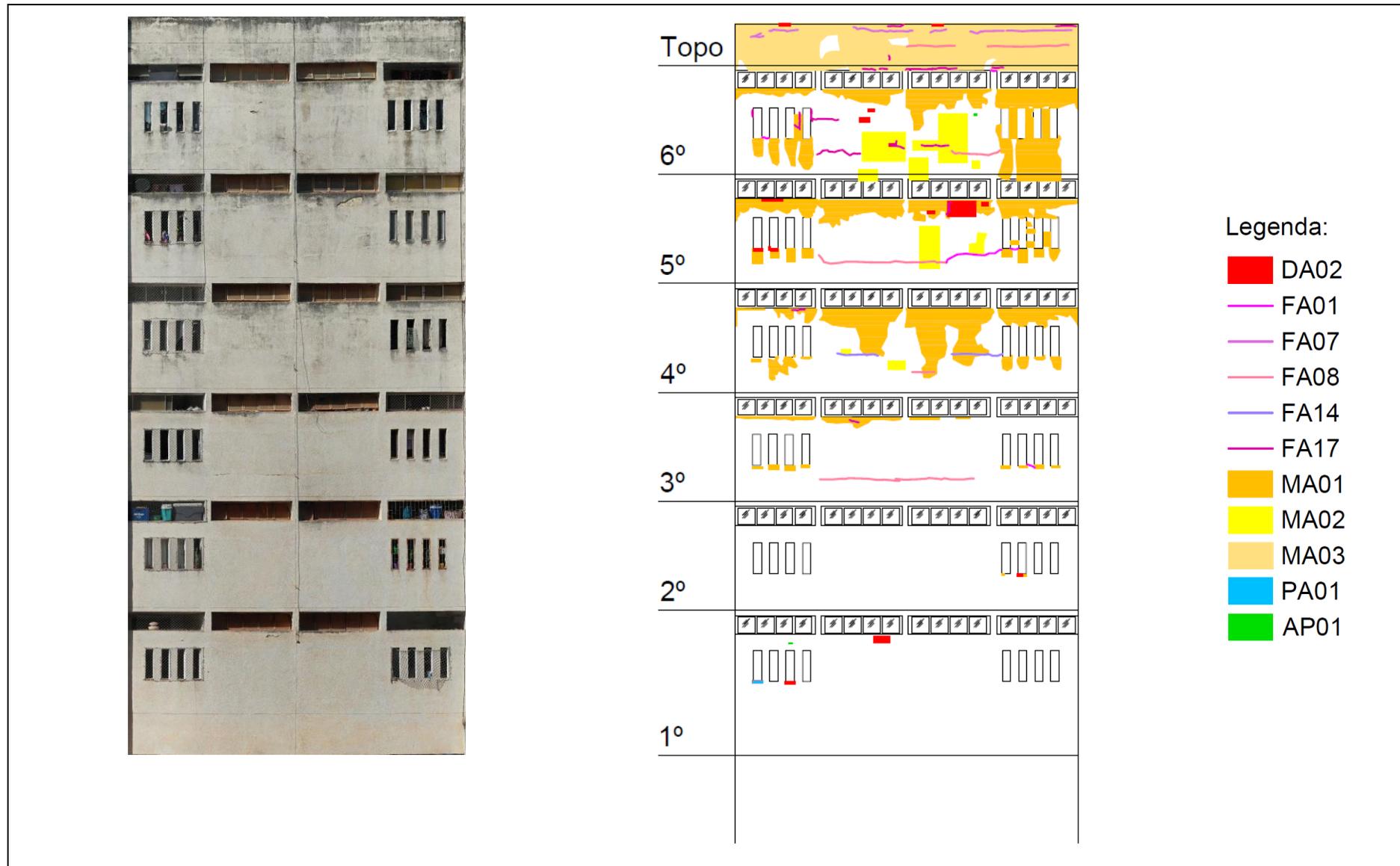


Figura 5.13 – Mapa de danos da Amostra A1.2

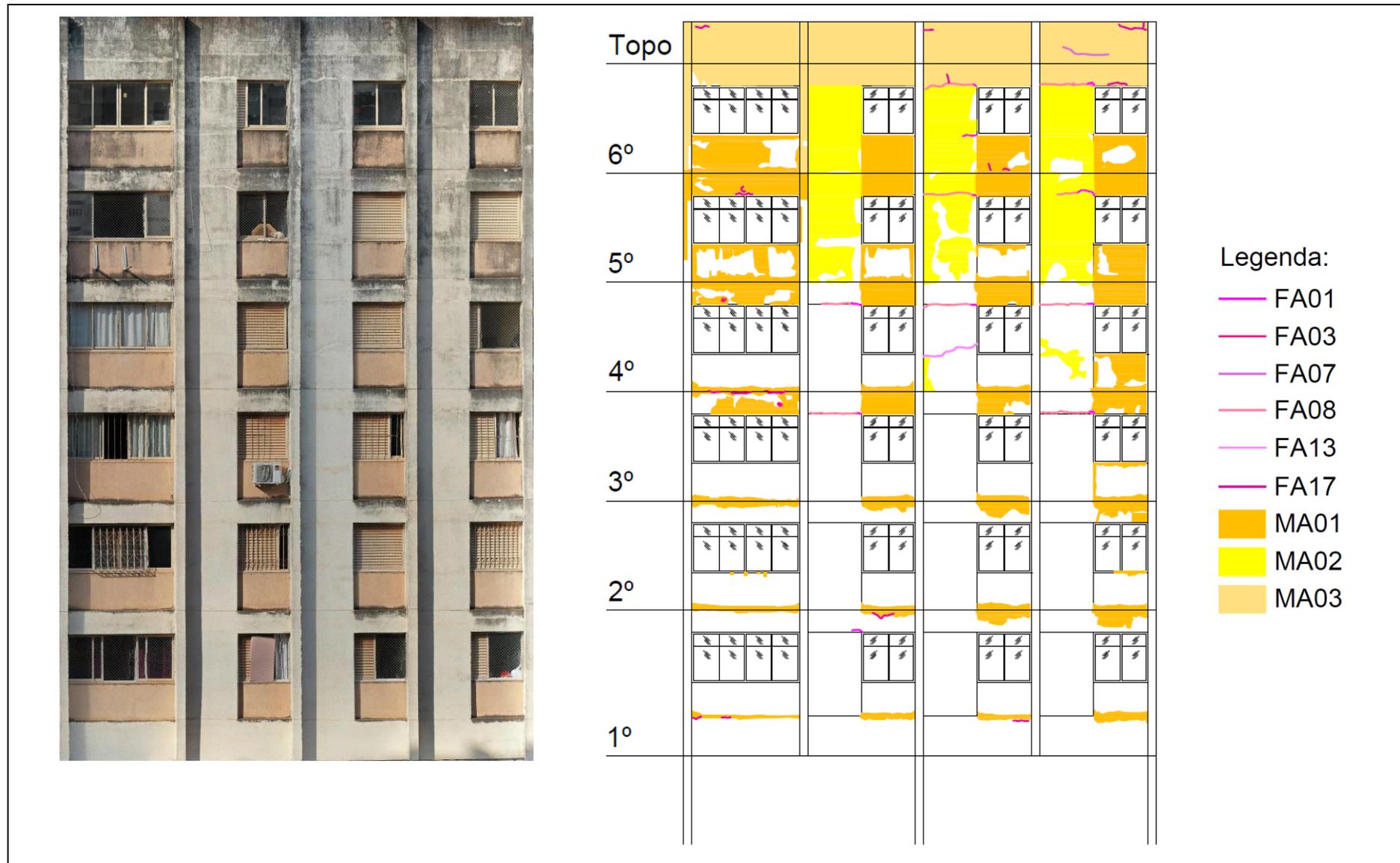


Figura 5.14 – Mapa de danos da Amostra A1.3.

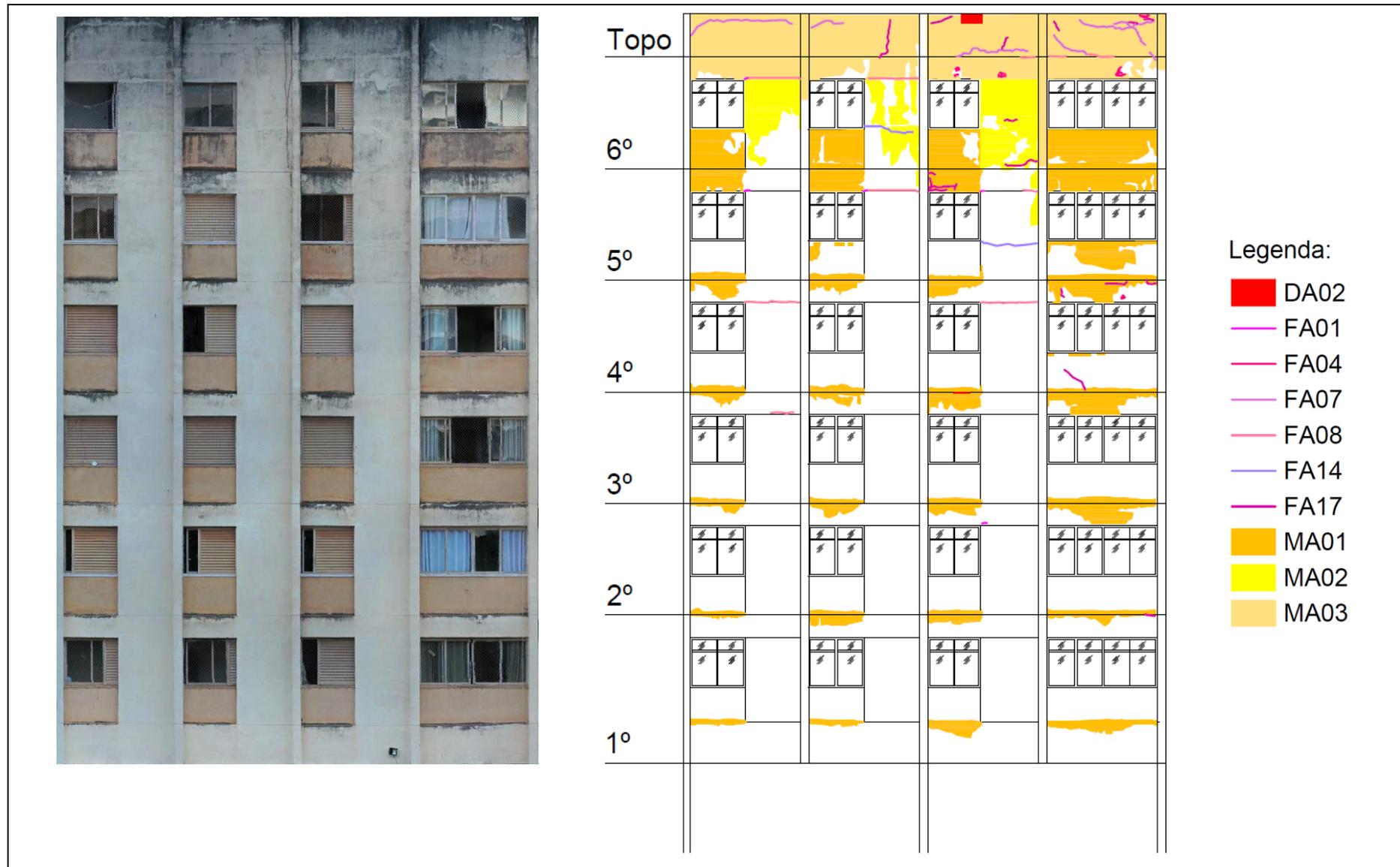


Figura 5.15 – Mapa de danos da Amostra A1.4.

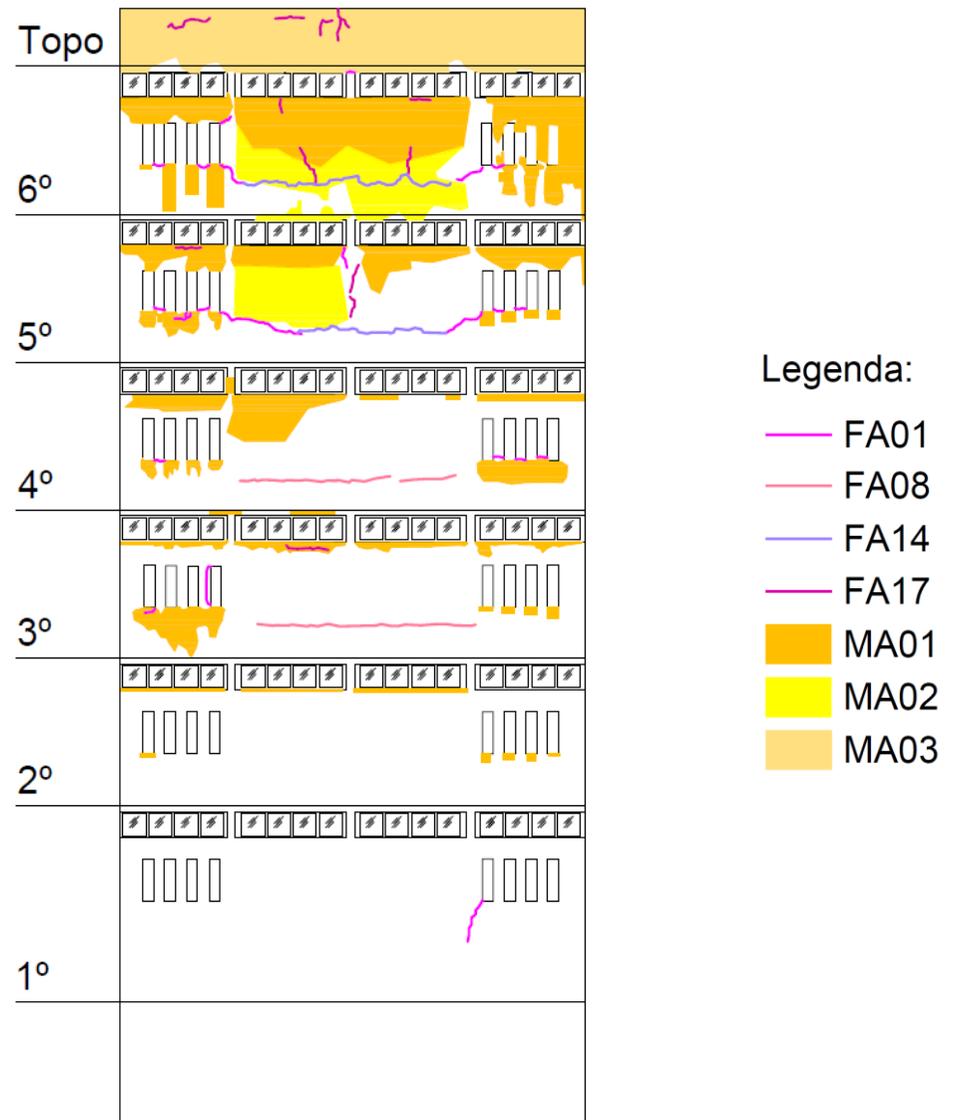


Figura 5.16 – Mapa de danos da Amostra A1.5.

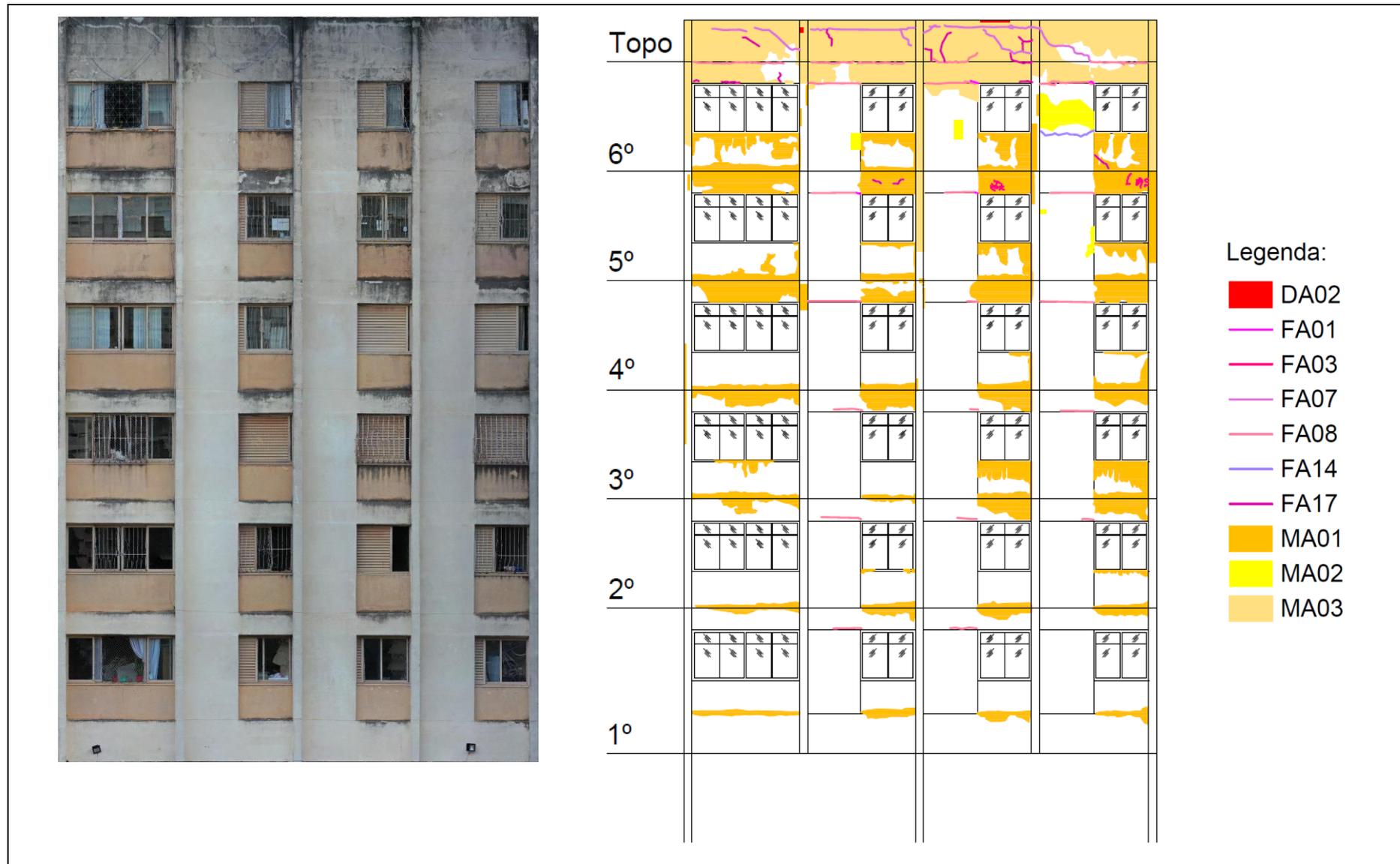


Figura 5.17 – Mapa de danos da Amostra A1.6.

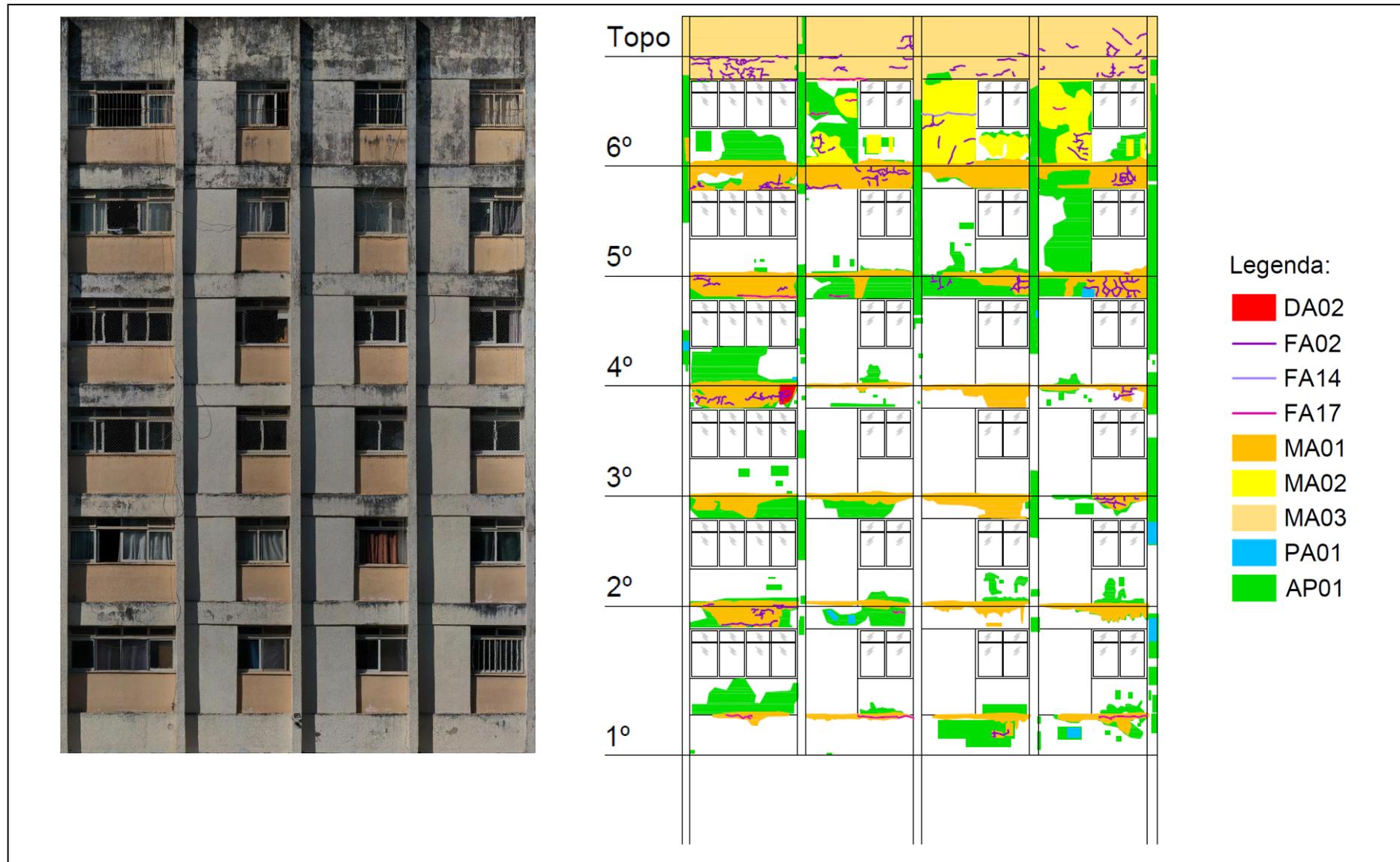


Figura 5.18 – Mapa de danos da Amostra A2.1.

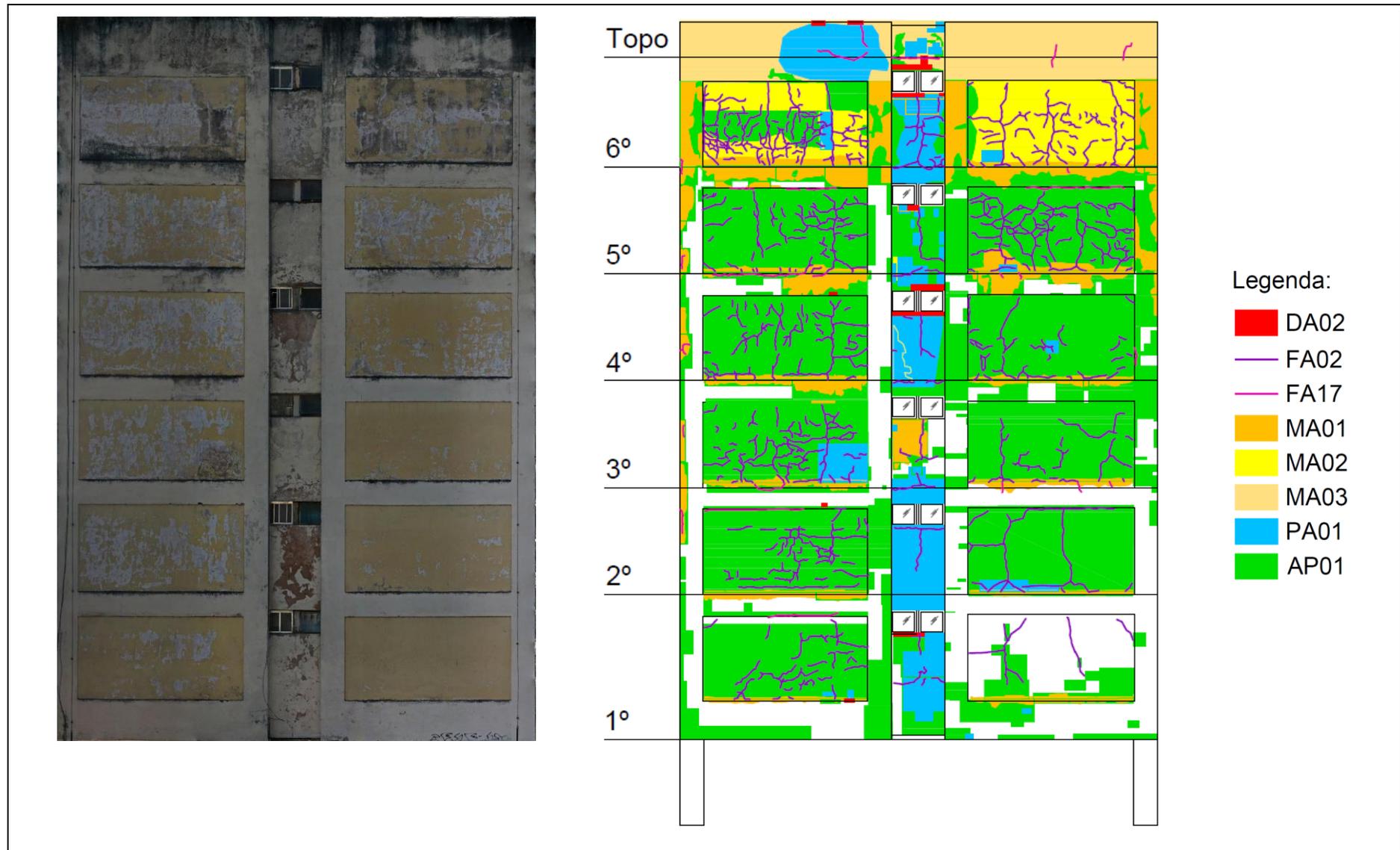


Figura 5.19 – Mapa de danos da Amostra A2.2.

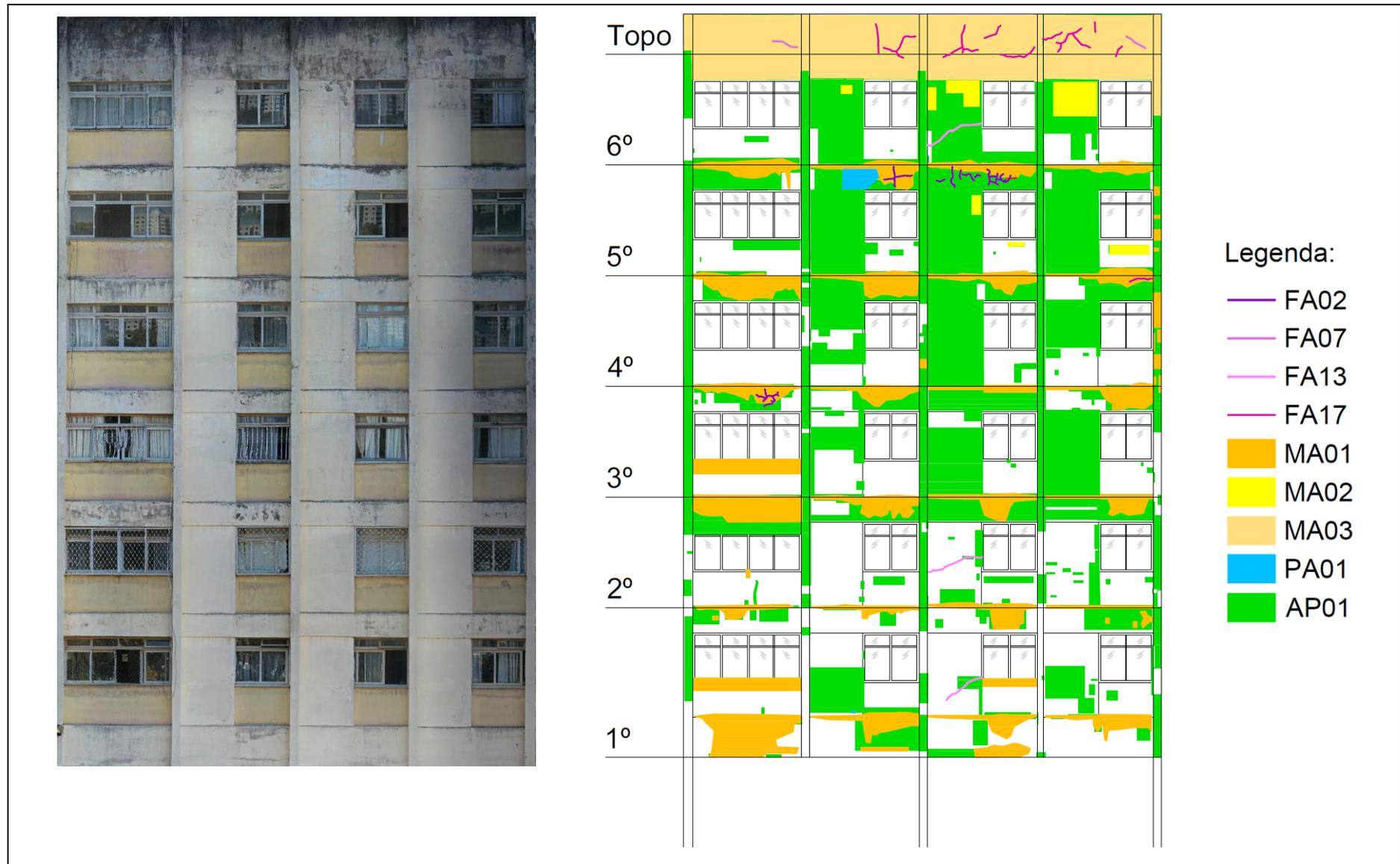


Figura 5.20 – Mapa de danos da Amostra A2.3.

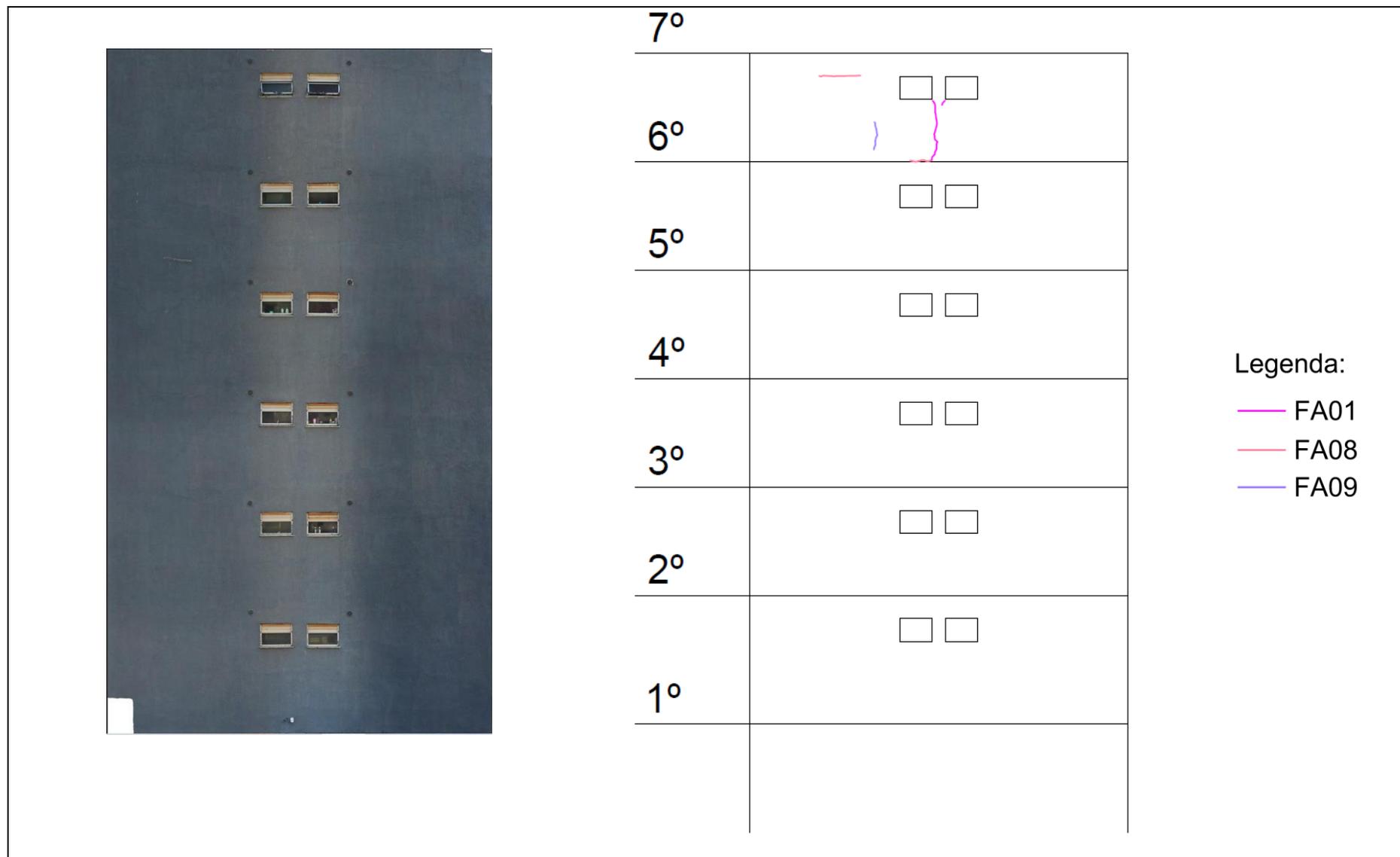


Figura 5.21 – Mapa de danos da Amostra A3.1.

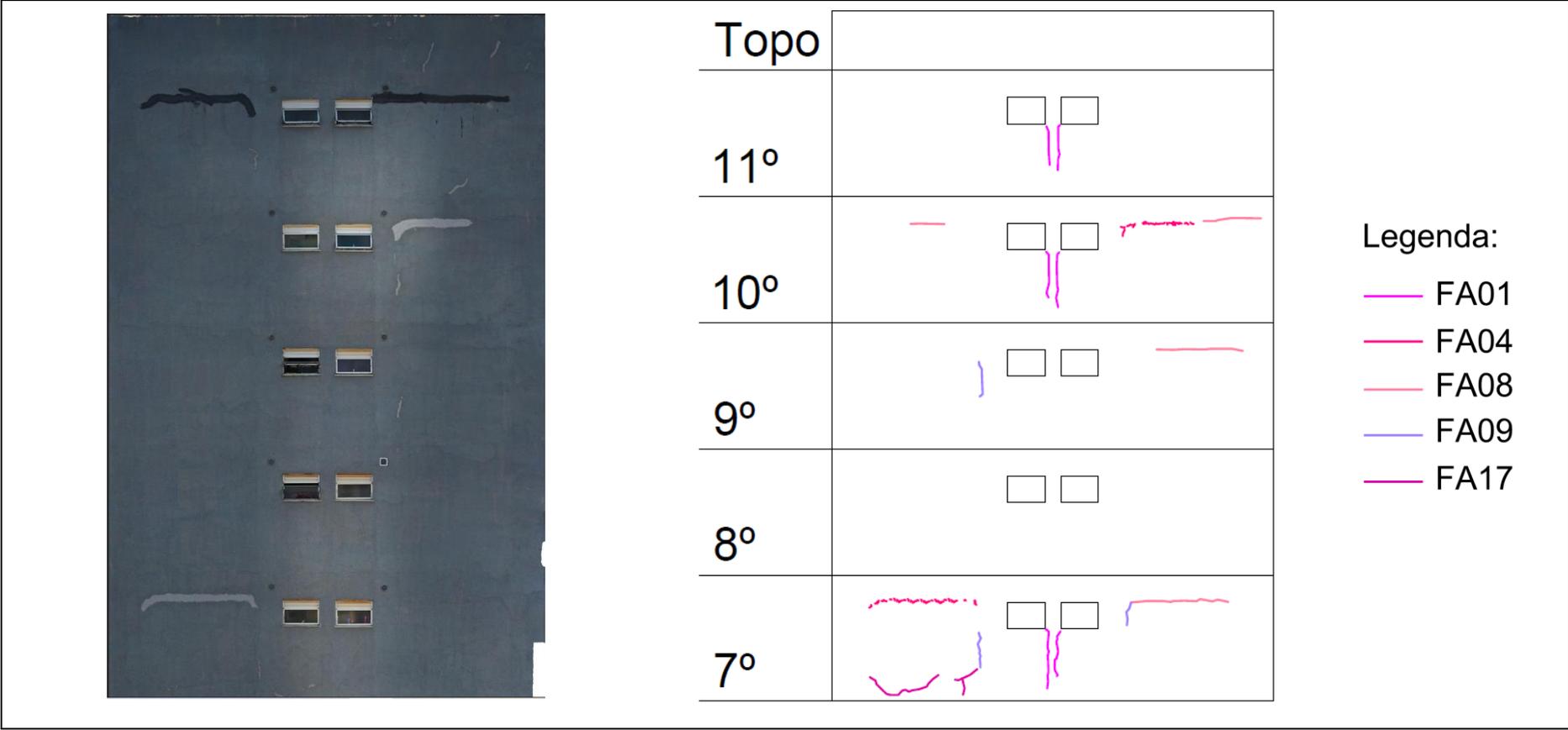


Figura 5.22 – Mapa de danos da Amostra A3.2.



Figura 5.23 – Mapa de danos da Amostra A3.3.

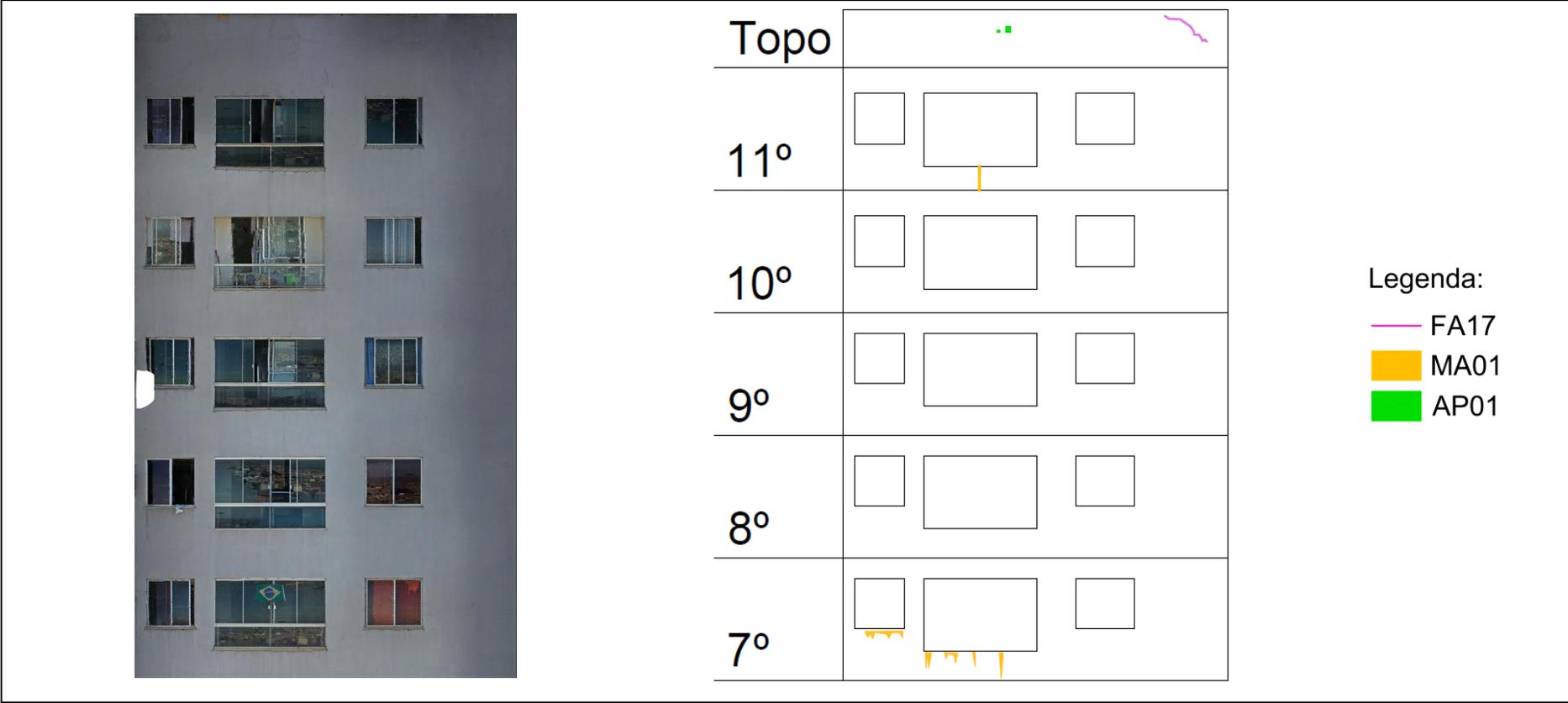


Figura 5.24 – Mapa de danos da Amostra A3.4.

Nos mapas dos edifícios mais antigos (Edifícios 1 e 2), observa-se a ocorrência de mais de um tipo de anomalia simultaneamente em uma mesma área, o que torna o processo de mapeamento mais complexo. Os critérios de tipologia propostos para a identificação de anomalias, assim como a padronização adotada para o mapeamento de danos facilita a identificação dos diferentes tipos de anomalias nesses casos.

#### 5.4.2 Variabilidades no mapeamento quanto às características das amostras

As variabilidades no processo de mapeamento de danos relacionadas às características das amostras são apresentadas no Quadro 5.8. Em relação à altura dos edifícios, não se observa nenhuma diferença no processo de mapeamento, inclusive porque no edifício alto estudado (Edifício 3), são selecionadas amostras referentes à metade da altura da edificação.

Quanto ao nível de detalhamento da fachada, percebe-se que amostras com um maior detalhamento apresentam mais elementos a serem observados na identificação de anomalias (Figura 5.25), o que torna o processo de mapeamento mais trabalhoso. Alguns detalhes também podem significar locais propícios para o acúmulo de umidade, o que leva à ocorrência de anomalias, como se verifica nas amostras estudadas, sendo, portanto, pontos de atenção durante o mapeamento. Um exemplo marcante pode ser citado: as Amostras A1.1, A1.3, A1.4, A1.6, A2.1 e A2.3 apresentam, na transição de pavimentos, vigas projetadas em relação ao plano da fachada, como exemplifica a Figura 5.25-a, sendo pontos de acúmulo de umidade e de ocorrência de anomalias como fissuras, descolamentos e manchas.

Quadro 5.8 – Variabilidades no processo de mapeamento de danos.

Processo de mapeamento mais trabalhoso		
	Altura do Edifício	Nível de detalhamento da fachada
+ ↓ -	Variabilidade não identificada	Alto
		Médio
		Baixo



Figura 5.25 – Exemplos de amostras de fachada: (a) com alto detalhamento (A1.3); (b) com médio detalhamento (A3.1); (c) com baixo detalhamento (A2.2).

### 5.4.3 Considerações sobre o processo de mapeamento

As principais observações em relação aos procedimentos adotados para a elaboração dos mapas de danos são listadas no Quadro 5.9. Observa-se que o posicionamento dos ortomosaicos sobre os croquis das amostras permite que as anomalias sejam representadas aproximadamente na mesma posição em que se encontram na fachada, como se verifica nas Figura 5.12 a Figura 5.24. Os ortomosaicos se mostram como uma opção prática, eficiente e ágil para a elaboração de um mapa de danos.

Quadro 5.9 – Resultados observados em relação aos procedimentos adotados no mapeamento.

Processo de mapeamento de danos	
Procedimento adotado	Resultado observado
Utilização de ortomosaicos para o mapeamento	Representação das anomalias na localização em que se encontram
Utilização da categorização por tipologia para a identificação de anomalias	Identificação precisa das anomalias, a partir de critérios específicos
	Maior precisão dos mapas de danos
Padronização do processo de mapeamento	Uniformização da análise

A utilização da categorização por tipologia se mostra relevante para auxiliar na identificação precisa dos diferentes tipos de anomalias presentes, a partir de critérios específicos, ao invés de simplesmente demarcá-los por uma simples análise visual. Isso proporciona uma maior precisão aos mapas de danos obtidos.

A padronização de todo o processo de mapeamento, adotando um nível de aproximação da imagem padrão (altura de um pavimento e largura correspondente), a definição de uma sequência de varredura da amostra e da identificação por grupo de anomalia, possibilita uma uniformização da análise dos ortomosaicos. Isso resulta em uma maior confiabilidade na comparação de resultados obtidos. A rotina definida e a categorização por tipologia ainda facilitam o processo de mapeamento quando existem diferentes anomalias que ocorrem simultaneamente.

## 5.5 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO

Para possibilitar a análise quantitativa da degradação nas amostras de fachada investigadas, a partir dos mapas de danos obtidos, e compor a base de dados do DMM<sub>Project</sub>, são calculados os seguintes indicadores (Tabela 5.6):

- Fator de Danos (FD), que representa a degradação verificada em cada amostra;

- Fator de Danos da Anomalia ( $FD_a$ ), calculado para cada grupo de anomalia, permitindo identificar os que possuem maior incidência;
- Índice de Frequência da Degradação na Zona ( $IFr(z)$ ), calculado para cada zona de fachada, permitindo identificar as mais afetadas pela degradação.

Tabela 5.6 – Indicadores de degradação calculados (FD,  $FD_a$  e  $IFr(z)$ ).

Fator de Danos (FD)												
Amostra	Anomalia ( $FD_a$ )						Zona ( $IFr(z)$ )					Total (FD)
	DA	FA	EA	MA	PA	AP	PC	AB	CE	TP	TO	
A.1.1	0,01	0,10	0,00	0,44	0,00	0,00	0,14	0,16	0,01	0,17	0,08	0,55
A1.2	0,04	0,12	0,00	0,42	0,00	0,00	0,22	0,25	0,03	0,01	0,09	0,58
A1.3	0,00	0,08	0,00	0,57	0,00	0,00	0,21	0,21	0,00	0,16	0,07	0,65
A1.4	0,01	0,10	0,00	0,44	0,00	0,00	0,15	0,15	0,01	0,15	0,09	0,55
A1.5	0,00	0,13	0,00	0,46	0,00	0,00	0,22	0,28	0,00	0,03	0,07	0,59
A1.6	0,00	0,12	0,00	0,52	0,00	0,00	0,16	0,22	0,02	0,17	0,09	0,65
A2.1	0,00	0,16	0,00	0,46	0,02	0,65	0,31	0,43	0,04	0,39	0,12	1,29
A2.2	0,03	0,51	0,00	0,48	0,17	0,94	1,33	0,15	0,13	0,40	0,13	2,14
A2.3	0,01	0,06	0,00	0,50	0,01	0,83	0,40	0,45	0,06	0,38	0,13	1,41
A3.1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
A3.2	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,10
A3.3	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06
A3.4	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,05

Os valores de FD obtidos para cada amostra são ilustrados na Figura 5.26. O Edifício 2 é o que apresenta amostras com maior degradação, sendo a Amostra A2.2 a mais degradada ( $FD = 2,14$ ). As amostras do Edifício 1 possuem valores medianos de degradação e as amostras analisadas no Edifício 3 (mais jovem) são as que apresentam menor degradação. Quanto às diferentes características das amostras (altura do edifício e nível de detalhamento da fachada), não é identificada nenhuma variabilidade.

O grupo de anomalias mais incidente nas amostras investigadas é o de manchas ( $FD_{MA} = 0,34$ ), seguido por anomalias na pintura ( $FD_{AP} = 0,19$ ) e fissuras ( $FD_{FA} = 0,11$ ), como mostra a Figura 5.27. A pulverulência ( $FD_{PA} = 0,02$ ) e os descolamentos ( $FD_{DA} = 0,01$ ) aparecem com baixa expressividade e a ocorrência de eflorescência é nula ( $FD_{EA} = 0,00$ ). Como se observa na Tabela 5.6, as manchas apresentam altos valores de  $FD_a$  para as amostras dos Edifícios 1 e 2. As anomalias na pintura só se expressam nas amostras do Edifício 2, que apresentam maior degradação. Já as fissuras são significativas nas amostras dos Edifícios 1 e 2, apresentando a maior incidência na Amostra A2.2. A referida amostra ainda apresenta uma manifestação expressiva de pulverulência.

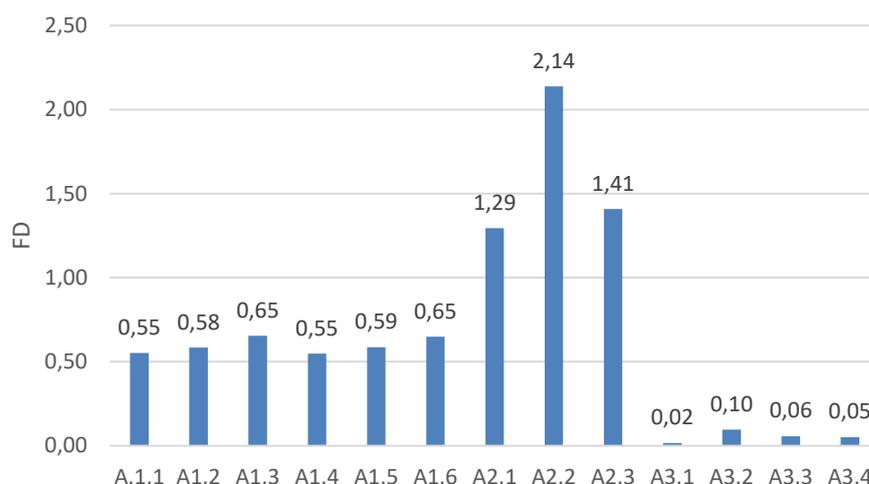


Figura 5.26 – FD por amostra de fachada.

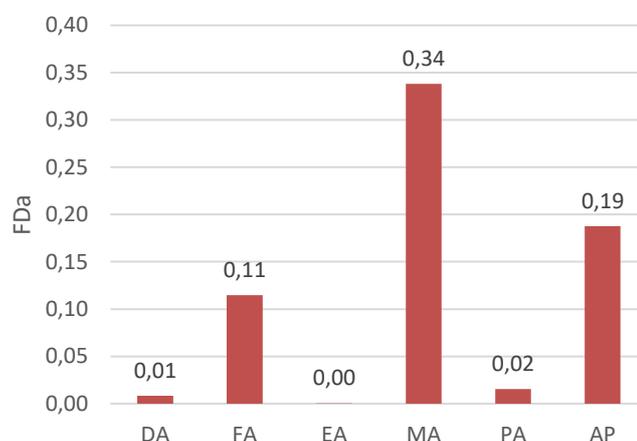


Figura 5.27 –  $FD_a$  médio para os grupos de anomalias.

Em relação às zonas de fachada, observa-se uma maior degradação nas regiões paredes contínuas ( $IFr_{(PC)} = 0,25$ ) e aberturas ( $IFr_{(AB)} = 0,18$ ), seguidas de transição de pavimentos ( $IFr_{(TP)} = 0,14$ ) e topo ( $IFr_{(TO)} = 0,07$ ), como mostra a Figura 5.28. A menor degradação é da zona cantos e extremidades ( $IFr_{(CE)} = 0,02$ ).

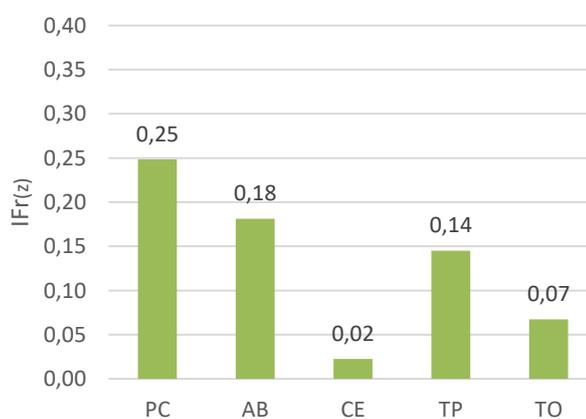


Figura 5.28 –  $IFr_{(z)}$  médio para cada zona de fachada.

## 5.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises realizadas permitem verificar a aplicabilidade de técnicas disponíveis e das metodologias propostas para a identificação de anomalias e o mapeamento de danos de fachadas com revestimento em argamassa, com o objetivo de estudo da degradação.

A inspeção com RPA permite a aquisição de imagens próximas e aproximadamente perpendiculares à fachada em qualquer altura, possibilitando a visualização de todas as partes da fachada, como verificado em outros estudos (ACOSTA *et al.*, 2019; DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021; FALORCA; MIRALDES; LANZINHA, 2021; LIMA, 2019; MENDES *et al.*, 2022; TONDELO; BARTH, 2019). Isso representa um avanço em relação à inspeção tradicional, com captura de imagens a partir do solo, que resulta em imagens distantes e com alta inclinação, o que impede a visualização de partes da fachada e, conseqüentemente, de algumas anomalias (MOURA JÚNIOR; PÓVOAS, 2022). As imagens obtidas com RPA são de qualidade adequada para a identificação de anomalias, assim como constatado por Ballesteros e Lordsleem Júnior (2021) e Pereira (2022). Outras vantagens observadas no uso de RPA são a facilidade e a rapidez da captura de imagens, reportadas por diversos autores (ACOSTA *et al.*, 2019; FALORCA; MIRALDES; LANZINHA, 2021; JUCÁ; OLIVEIRA; ZANONI, 2022; PEREIRA, 2022; RUIZ; LORDSLEEM JÚNIOR; ROCHA, 2021; SERRAT *et al.*, 2019; TONDELO; BARTH, 2019).

Como dificuldades identificadas, estão a impossibilidade de voo devido à presença de obstáculos no entorno das edificações, a baixa duração das baterias (cerca de 25 minutos) e a restrição em relação às condições climáticas (velocidade dos ventos, tempo chuvoso) (ACOSTA *et al.*, 2019; PEREIRA, 2022). Além disso, como na inspeção de fachadas o voo e a captura de imagens são realizados manualmente, também se observa uma dificuldade em manter a trajetória planejada, o que pode influenciar nos resultados obtidos (FALORCA; LANZINHA, 2019; SILVA *et al.*, 2021). Em relação às características das amostras, observa-se que o controle da trajetória da RPA é mais difícil em fachadas de edifícios mais altos e com menor detalhamento. A maior altura dificulta a observação pelo auxiliar do piloto e o menor detalhamento representa menos referências para o controle da trajetória.

O levantamento fotográfico com RPA, seguindo os parâmetros determinados neste estudo, possibilita a construção de ortomosaicos de qualidade satisfatória, permitindo visualizar detalhes da fachada e sendo adequados para a identificação de anomalias, o que está em concordância com os resultados de outras pesquisas (MENDES *et al.*, 2022; RUIZ;

LORDSLEEM JÚNIOR; ROCHA, 2021). Ambas as técnicas utilizadas (ortogonalização e processamento digital de imagens) levam a resultados satisfatórios, podendo ser destacado que o processamento digital de imagens facilita a obtenção de ortomosaicos, possibilitando um processo menos trabalhoso e com resultado menos dependente do profissional. No entanto, esse método é altamente dependente do planejamento e da execução do levantamento fotográfico (AMORIM; SILVA; CHRISTAKOU, 2012; BALLESTEROS; LORDSLEEM JÚNIOR, 2021; MELO JÚNIOR, 2016). Nas amostras investigadas, percebe-se também a influência das características da fachada no processo de ortogonalização. Pode ser observado que fachadas de edifícios com maior altura acarretam em uma maior morosidade no processo, por apresentarem uma maior área. Em relação ao detalhamento da fachada, uma maior quantidade de detalhes facilita a realização dos cortes para a montagem do ortomosaico, mas, por outro lado, as linhas de colagem podem se tornar mais evidentes nos encontros desses detalhes.

Para a identificação de anomalias a partir dos ortomosaicos obtidos para as amostras de fachada, são propostos critérios de tipologia que expressam as formas de manifestação dos danos e auxiliam na detecção (categorização por tipologia). A definição de critérios e de representações visuais de anomalias para verificar a sua correlação com as principais causas, origens, urgência de reparo e procedimentos de reparo são relatadas por diversos autores (PEREIRA *et al.*, 2021; ERTEMIR; EDIS, 2022; GASPAR, 2009; PEREIRA *et al.*, 2020; SANTOS, 2018; SANTOS, 2017).

Os critérios propostos para a identificação de anomalias (posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem e elementos próximos) contêm diferentes características (Figura 5.29), que podem apresentar uma relação de alta, intermediária ou baixa/nenhuma importância para a identificação dos diversos tipos de anomalias investigados, conforme relacionado nas matrizes de correlação apresentadas nas Tabela 5.4 e Tabela 5.5 (itens 5.3.1 e 5.3.2).

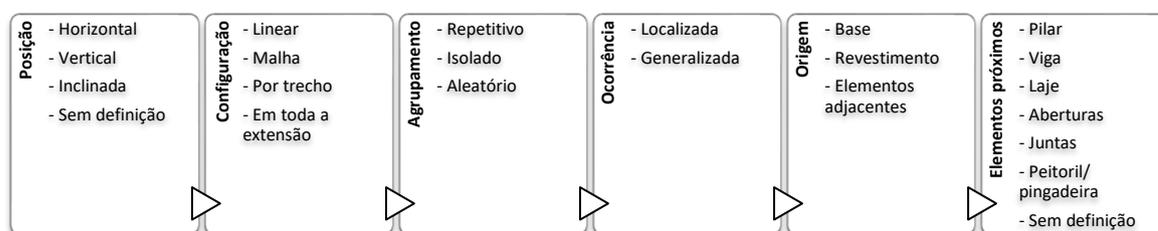


Figura 5.29 – Características relacionadas a cada critério.

A partir das matrizes elaboradas, pode ser observado que as características com maior relevância para a identificação das anomalias estruturais, são a ocorrência localizada, a

configuração linear e o agrupamento isolado. Já para a identificação das anomalias superficiais, as características mais relevantes são a posição “sem definição” e a origem no revestimento.

Na determinação da correlação entre as anomalias e os critérios estabelecidos para sua identificação, a definição de pesos para a importância da relação entre cada característica, dentro de cada critério, e os diferentes tipos de anomalias possibilita a obtenção de atributos que auxiliam na identificação de cada anomalia, como sintetizado no Quadro 5.6 (item 5.3.3). Com a aplicação da metodologia proposta para a identificação de anomalias nos ortomosaicos das amostras de fachada investigadas, observa-se que os critérios de tipologia definidos são eficientes para a detecção precisa das anomalias. A categorização por tipologia permite a identificação dos diferentes tipos de anomalias com base em parâmetros criteriosos, o que contribui para o estudo da degradação.

Os critérios estabelecidos são pertinentes para a detecção das anomalias consideradas. A posição, a configuração, o agrupamento, a ocorrência, a origem e os elementos próximos são parâmetros frequentemente utilizados para definir e diferenciar a manifestação dos diversos tipos de fissuras (ERTEMIR; EDIS, 2022; GASPAR, 2009; PEREIRA *et al.*, 2019; SANTOS, 2017). Quanto aos descolamentos, observa-se a descrição de sua origem, sua extensão (relacionada aos critérios de configuração e ocorrência), sua localização e o contexto em que ocorrem (relacionados ao critério de elementos próximos) (GASPAR, 2009). As manchas, eflorescências, pulverulência e anomalias na pintura também são geralmente definidas por sua extensão (relacionada aos critérios configuração, agrupamento e ocorrência) e pelos elementos próximos, usualmente associados à exposição à água da chuva, aos detalhes da fachada e ao acúmulo de umidade (GASPAR, 2009). Um exemplo são elementos projetados em relação ao plano da fachada, que são locais favoráveis para o acúmulo de umidade, facilitando a manifestação de manchas e eflorescências, além de fissuras (ERTEMIR; EDIS, 2022).

A categorização por tipologia possibilita uma maior eficiência no mapeamento de danos, facilitando a diferenciação entre os diversos tipos de anomalias, especialmente quando se observa a ocorrência simultânea de danos, como no caso do presente estudo. O conhecimento dos tipos de anomalias que afetam a fachada pode auxiliar no diagnóstico, no reparo e na prevenção dos danos. Além disso, a existência de critérios específicos para a identificação das anomalias, ao invés da simples demarcação pela identificação visual, resulta em mapas de danos mais precisos e confiáveis.

O mapeamento de danos depende do conhecimento das formas de manifestação das anomalias, expressas por meio da categorização por tipologia definida, e da qualidade dos ortomosaicos, que neste estudo foi satisfatória. O posicionamento dos ortomosaicos sobre os croquis das amostras permite que as anomalias sejam representadas aproximadamente na mesma posição em que se encontram na fachada. Quanto às variabilidades no mapeamento de danos relacionadas às diferentes características das amostras, percebe-se um processo mais trabalhoso em fachadas com um maior nível de detalhamento.

Observa-se que a padronização definida para o mapeamento, principalmente em relação à aproximação da imagem estabelecida (altura de pavimento e largura equivalente), torna o processo mais homogêneo. Com isso, os mapas de danos obtidos são mais precisos e permitem uma comparação mais consistente da degradação observada.

Os mapas de danos obtidos permitem visualizar a localização e a extensão das anomalias, além de possibilitar sua quantificação. A partir disso, é possível identificar as anomalias mais incidentes e as zonas mais afetadas. Os valores de FD obtidos permitem observar uma maior degradação das amostras pertencentes ao Edifício 2. O Edifício 1 apresenta amostras com uma degradação mediana e as amostras do Edifício 3, por sua vez, apresentam valores bem reduzidos de degradação, o que pode ocorrer por esse ser o edifício mais jovem.

Nas amostras investigadas, observa-se uma maior incidência de manchas, seguidas por anomalias na pintura e fissuras. Santos (2018) também constata, como anomalias mais incidentes, as fissuras, seguidas de manchas e anomalias na pintura. Outros estudos identificam manchas e fissuras como as principais anomalias presentes em revestimentos de argamassa (BAUER; SOUZA; MOTA, 2021; DIAS *et al.*, 2021; MOTA, 2021).

Quanto às zonas de fachada, pode ser observado que a região mais afetada no conjunto de amostras analisado é a de paredes contínuas, seguida de aberturas, transição de pavimentos e topo, assim como identificado por Santos (2018). Outros estudos também constataam as paredes contínuas como a região com maior incidência de anomalias (GASPAR; DE BRITO, 2005; MOTA, 2021), o que pode ser explicado pelo fato desta ser a região de maior área das amostras.

A metodologia e os procedimentos propostos para a identificação de anomalias e o mapeamento de danos, a partir dos ortomosaicos das fachadas, conduzem para a sistematização desses processos e se apresentam relevantes para o estudo da degradação.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **6.1 CONCLUSÕES**

O estudo da degradação é essencial para compreender o comportamento dos revestimentos de fachadas ao longo do tempo e identificar o momento em que estes perdem a capacidade de desempenhar as funções para as quais são projetados e executados. Para isso, a inspeção e o mapeamento de danos desempenham um papel fundamental, possibilitando a identificação, a localização e a quantificação das anomalias presentes em uma fachada.

É imprescindível que as técnicas de inspeção e de mapeamento de danos sejam constantemente estudadas e aperfeiçoadas para facilitar os processos e torná-los mais confiáveis. A presente pesquisa apresenta uma sistematização para a identificação de anomalias e o mapeamento de danos a partir de ortomosaicos de fachadas com revestimento em argamassa no Distrito Federal, além de analisar a utilização de RPA para a inspeção.

A inspeção de fachadas com RPA se mostra ágil e eficiente e conduz à obtenção de imagens próximas e perpendiculares ao plano da fachada em qualquer altura, permitindo a visualização completa das fachadas. Com os parâmetros adotados nesta pesquisa para a captura de imagens, é possível a construção de ortomosaicos de qualidade adequada para a identificação de anomalias e o mapeamento de danos.

As duas técnicas utilizadas para a obtenção de ortomosaicos (ortogonalização e processamento digital de imagens) se mostram eficazes e apresentam resultados satisfatórios. O processamento digital de imagens facilita a obtenção de ortomosaicos, apresentando a vantagem de ser um processo menos trabalhoso do que a ortogonalização e menos dependente do profissional. Por outro lado, observa-se uma alta dependência dos parâmetros utilizados no planejamento do voo (distâncias e sobreposições) e da execução do levantamento fotográfico, ressaltando a importância dessas etapas.

Os critérios de tipologia definidos (posição, configuração, agrupamento, ocorrência, origem e elementos próximos), e suas respectivas características, se mostram eficientes para a caracterização das anomalias em revestimentos de argamassa. Com a categorização por tipologia proposta (Quadro 5.6), são obtidas as principais características, dentro de cada critério, que auxiliam na identificação de cada tipo de anomalia. A utilização da categorização elaborada em conjunto com as ilustrações dos danos (Quadro 4.7), se mostram eficazes para a detecção precisa das anomalias pela análise dos ortomosaicos, principalmente em situações em que

diferentes anomalias ocorrem simultaneamente. Isso conduz para a obtenção de mapas de danos mais precisos.

A utilização dos ortomosaicos para a elaboração dos mapas de danos permite que as anomalias sejam representadas aproximadamente na mesma posição em que se encontram na fachada. A padronização definida para o mapeamento de danos, em especial o nível de aproximação estabelecido para a análise dos ortomosaicos, contribui para a uniformização do processo de mapeamento. Com isso, há uma maior precisão nos mapas de danos, permitindo uma comparação mais confiável dos resultados obtidos em diferentes amostras.

As variabilidades observadas no processo de mapeamento, relacionadas às características das fachadas (altura e nível de detalhamento), permitem constatar que edifícios mais altos conduzem a processos mais demorados e trabalhosos no levantamento fotográfico e na obtenção dos ortomosaicos por ortogonalização. Na elaboração dos mapas de danos, nenhuma diferença pode ser constatada, devido à utilização de amostras com metade da altura no edifício mais alto. Por outro lado, observa-se que fachadas com maior detalhamento facilitam o levantamento fotográfico e a ortogonalização, porém, podem levar a mais falhas nos ortomosaicos obtidos por essa metodologia. Já na elaboração dos mapas, um maior detalhamento acarreta em um processo mais trabalhoso. Na obtenção de ortomosaicos por processamento digital de imagens, não são constatadas variabilidades diretamente relacionadas às características consideradas neste estudo.

A quantificação da degradação das amostras de fachada investigadas permite constatar uma maior ocorrência de manchas, seguidas de anomalias na pintura e de fissuras. Quanto às zonas da fachada, observa-se a maior incidência de anomalias na região paredes contínuas, seguida de aberturas, transição de pavimentos e topo.

A pesquisa realizada contribui para o mapeamento de danos e o estudo da degradação de fachadas. A definição de uma categorização por tipologia conduz para a identificação precisa dos diferentes tipos de danos com base em parâmetros criteriosos, ao invés de uma simples identificação visual. A sistematização proposta permite uma maior precisão e confiabilidade para o mapeamento de danos.

## 6.2 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os resultados obtidos nesta investigação podem ser ampliados, dando continuidade às pesquisas relacionadas ao estudo da degradação de fachadas, sendo propostos os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Utilização de câmera termográfica acoplada à RPA para a inspeção de fachadas, buscando observar como essa ferramenta auxilia na identificação de anomalias não visíveis, principalmente descolamentos, e quais as diferenças em relação à termografia de infravermelho realizada a partir do solo;
- Utilização de plano de voo automático para a captura de imagens das fachadas, verificando as diferenças em relação ao voo controlado manualmente pelo piloto.
- Aplicação da metodologia proposta (categorização por tipologia) a mais amostras de fachada;
- Propor o acréscimo de outros tipos de anomalias e outros critérios que possam aumentar a precisão na identificação de anomalias;
- Aplicação da metodologia proposta em outras localidades, buscando observar a efetividade dessa ferramenta para a identificação das anomalias em situações de exposição diferentes.
- Elaboração de uma categorização por tipologia para anomalias em revestimentos cerâmicos, identificando se essa ferramenta auxilia na identificação dos danos;
- Utilização de algoritmo para a identificação automática de anomalias, verificando a efetividade do uso dessa ferramenta.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, L. M.; TORRES, A.; KREJZA, Z.; GIBERT, V.; SERRAT, C. Exploring technological alternatives to the visual inspection method in the built environment. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 222, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41024-020-0072-6>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **RBAC-E nº 94**: Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf). Acesso em: 16 abr. 2023.
- AGISOFT. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.0**. 2023. Disponível em: [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_2\\_0\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf). Acesso em: 10 mai 2023.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 632-81**: Standard practice for developing accelerated tests to a prediction of the service life of building components and materials. Philadelphia: ASTM International, 1996.
- AMORIM, A. L. **Fotogrametria: uma introdução**. In: PRATINI, E. F., SILVA, E. A. Criação, representação e visualização digitais. Brasília, DF: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2012. p. 63-89.
- AMORIM, A. L.; SILVA, L. S.; CHRISTAKOU, E. D. Uso de VANTs em documentação arquitetônica. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. **Anais [...]**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2012.
- ANDRADE, D. T. **Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higrotérmica para os edifícios de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- ANDRADE, R. P.; RESENDE, M. M.; MARANHÃO, F. L.; PORTELLA, F.; BULZICO, B. Estado da arte da utilização da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachada. In: WORKSHOP ON PROCESS TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION SYSTEMS, 2., 2019, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–5. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/358>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília**: sistematização da incidência de casos. 166 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/8932>. Acesso em: 06 jan. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial: Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. *In: CONGRESO IBEROAMERICANO, 1.; JORNADA TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, 8., 2009. Anais [...]* Buenos Aires: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/153566136.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

BAUER, E.; FEITOSA, C. P.; RODRIGUES FILHO, H.; ALMEIDA, P. O. Análise comparativa dos requisitos e do desempenho de argamassas de revestimento empregadas em obras do Distrito Federal. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013. Anais [...]* Fortaleza: SBTA, 2013. Disponível em: <https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/460-analise-comparativa-dos-requisitos-e-do-desempenho-de-argamassas-de-revestimento-empregadas-em-obras-do-distrito-federal>. Acesso em: 31 mar. 2023.

BAUER, E.; KRAUS, E.; SILVA, M. N. B. Patologia e deterioração das fachadas de edifícios em Brasília – Estudo da quantificação de danos. *In: CONGRESO DE PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE EDIFÍCIOS, 4., 2012. Anais [...]. [s. l.]: PATORREB, 2012.*

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015. Anais [...]* Porto Alegre: SBTA, 2015. Disponível em: <https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/485-requisitos-das-argamassas-estabilizadas-para-revestimento>. Acesso em: 31 mar. 2023.

BAUER, E.; SOUZA, A. L. R. Failure patterns associated with façade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 347, p. 1–12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4128572>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000400557>. Acesso em: 9 abr. 2023.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. Application of the degradation measurement method in the study of façade service life. **Building Pathology and Rehabilitation**, [s. l.], v. 12, p. 105–119, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47302-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47302-0_5). Acesso em: 02 jan. 2023.

BERSCH, J. D.; VERDUM, G.; GUERRA, F. L.; SOCOLOSKI, R. F.; GIORDANI, C.; ZUCHETTI, L.; MASUERO, A. B. Diagnosis of pathological manifestations and characterization of the mortar coating from the façades of historical buildings in Porto Alegre - Brazil: A case study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**, [s. l.], p. 1145-1169, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1771475>. Acesso em: 19 mar. 2023.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 6241**: Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered. London: BSI, 1984.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 15686-1**: Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 1: General principles and framework. London: BSI, 2011.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 15686-2**: Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures. London: BSI, 2012.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARASEK; H.; CASCUDO, O.; SANTOS, M. S. J.; LEMES, N. Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa. **Revista ALCONPAT**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 115-135, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i2.10>. Acesso em: 21 mai 2023.

CARRETERO-AYUSO, M. J.; RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, C. E.; BIENVENIDO-HUERTAS, D.; MOYANO, J. J. Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 39, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102235>. Acesso em: 30 abr 2023.

CARVALHO, G. B. **Proposta para representação gráfica de mapas de danos em fachadas modernistas de concreto armado aparente**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34857>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CARVALHO, G. B.; OLIVEIRA, C. A. ZANONI, V. Contribuição à conservação das fachadas de concreto aparente em edifícios de arquitetura moderna: mapa de danos como estratégia de monitoramento. *In*: ENCONTRO DE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4., 2020. **Anais [...]** Lisboa, Portugal: LNEC, 2020.

CHAI, C. V. V. C. **Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores**. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142652144/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.

COELHO, L.; DE BRITO, J. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. Disponível em: [http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria\\_digital\\_revisado.pdf](http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria_digital_revisado.pdf). Acesso em: 20 jan. 2023.

CÓIAS, V. **Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios**. Lisboa: IST PRESS, 2009.

COSTA, L. G. G. **Cronidas: elaboração da base de dados para auxílio em representação de mapa de danos**. 2010. 265 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/33584>. Acesso em: 07 mar. 2023.

COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17325>. Acesso em: 16 mai. 2023.

DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Critical analysis about emerging technologies for building's façade inspection. **Buildings**, [s. l.], v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11020053>. Acesso em: 19 abr. 2023.

DIAS, R.; PAGOTO, L.; TSUTSUMOTO, N.; FIORITI, C. Mapping external mortar render (EMR) defects: Case study in multi-storey residential buildings. **Revista ALCONPAT**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 88–107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i3.538>. Acesso em: 24 mai. 2023.

DJI. **Mavic 2 pro/zoom**: manual do usuário. 2018. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic\\_2/201911um/Mavic\\_2\\_Pro\\_Zoom\\_User\\_Manual\\_v1.2\\_br.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/201911um/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_br.pdf). Acesso em: 29 jan. 2023.

DJI. **Mavic 3 Pro**: manual do usuário. 2023. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Mavic\\_3\\_Pro/20230425/DJI\\_Mavic\\_3\\_Pro\\_User\\_Manual\\_PTBR.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Pro/20230425/DJI_Mavic_3_Pro_User_Manual_PTBR.pdf). Acesso em: 08 jul. 2023.

DJI. **Mavic Air 2S**: manual do usuário. 2021. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Air\\_2S/2023UM/DJI\\_Air\\_2S\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_BR.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Air_2S/2023UM/DJI_Air_2S_User_Manual_v1.0_BR.pdf). Acesso em: 08 jul. 2023.

DJI. **Mavic Inspire 3**: manual do usuário. 2023. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/inspire\\_3/20230524UM/DJI\\_Inspire\\_3\\_User\\_Manual\\_V1.0\\_ENI.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/inspire_3/20230524UM/DJI_Inspire_3_User_Manual_V1.0_ENI.pdf). Acesso em: 08 jul. 2023.

DJI. **Mavic Mini 3 Pro**: manual do usuário. 2022. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/DJI\\_Mini\\_3\\_Pro/UM/DJI\\_Mini\\_3\\_Pro\\_User\\_Manual\\_v1.2\\_PT-BR.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_3_Pro/UM/DJI_Mini_3_Pro_User_Manual_v1.2_PT-BR.pdf). Acesso em: 08 jul. 2023.

DJI. **Phantom 4 pro/pro+**: manual do usuário. 2021. Disponível em: [https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20211129/UM/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_Series\\_User\\_Manual\\_PT-BR.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20211129/UM/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_Series_User_Manual_PT-BR.pdf). Acesso em: 29 jan. 2023.

DRAGANIC, S.; POPOV, S.; LABAN, M.; MARKOVIC, M. Z.; LUKIC, I.; MALESEV, M.; RADONJAMIN, V. Orthofaçade-Based Assisted Inspection Method for Buildings. **Applied Sciences**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12115626>. Acesso em: 30 abr. 2023.

ELLENBERG, A.; KONTOSOS, A.; MOON, F.; BARTOLI, I. Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 72, p. 155–165, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024>. Acesso em: 03 mai. 2023.

ENTROP, A. G.; VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: Designing a protocol for building thermography procedures. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 132, p. 63–68, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ERTEMIR, D. Y.; EDIS, E. Sustaining modern heritage buildings: visual defect categorisation guides for the general condition survey of rendered-painted façades. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-03-2022-0041>. Acesso em: 24 mai. 2023.

FALORCA, J. F.; LANZINHA, J. C. G. **Developments towards the use of drones in the building envelope condition assessment**: A comprehensive review and experimental rehearsals. Tipografia da Universidade da Beira Interior, UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR: Covilhã, Portugal, 2019. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/8164>. Acesso em: 25 fev. 2023.

FALORCA, J. F.; LANZINHA, J. C. G. Façade inspections with drones - theoretical analysis and exploratory tests. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 235–258, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2019-0063>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FALORCA, J. F.; MIRALDES, J. P. N. D.; LANZINHA, J. C. G. New trends in visual inspection of buildings and structures: study for the use of drones. **Open Engineering**, [s. l.],

v. 11, p. 734–743, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>. Acesso em: 8 jan. 2023.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**: Estudos e procedimentos de Execução. 2. ed. São Paulo: Pini, 2010.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. 487 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

FREITAS, J. G. **A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia-GO**. 197 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/1346>. Acesso em 30 Abr. 2023.

GASPAR, P. **Vida útil das construções**: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. 330 f. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

GASPAR, P.; DE BRITO, J. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and Building Materials**, [s. l.], p. 571–578, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014>. Acesso em: 24 mai. 2023.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da fotogrametria digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. *In*: CONGRESSO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16., 2012. **Anais [...]**. Fortaleza: SIGRADI, 2012. Disponível em: [http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012\\_95.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_95.content.pdf). Acesso em: 04 dez. 2022.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Remotely piloted aircraft system (RPAS) concept of operations for international IFR operations**. Montreal: ICAO, 2017. Disponível em: <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/ICAO%20RPAS%20Concept%20of%20Operations.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

JERNBERG, P.; SJÖSTRÖM, C.; LACASSE, M. A.; BRANDT, E.; SIEMES, T. **Guide and bibliography to service life and durability research for building materials and components**. Part I – Service Life and Durability Research. Joint CIB W80 / RILEM TC 140 – TSL Committee on service life of building materials and components, CIB Report, Publication 295, p. 1-59, 2004.

JORNE, F. **Análise do comportamento higrotérmico em regime variável de paredes sujeitas à ação da chuva incidente**. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/16371>. Acesso em: 05 mar. 2023.

LIMA, B. **Sistema de revestimento em mármore nas fachadas do Congresso Nacional - Cenários do estado de conservação**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37347>. Acesso em: 16 mai. 2023.

LIMA, B.; AMORIM, A. L.; SCHMIDT, F. Levantamento da portada das igrejas de São Francisco e do Rosário com nuvens de pontos. *In: ARQ.DOC*, 2010. **Anais [...]**. Salvador: Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2010.

LOPES, M. L. F.; BAUER, E.; SILVA, L. S. Utilização de aeronave remotamente pilotada (RPA) para a inspeção e o mapeamento de danos. *In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO CIVIL*, 2022. **Anais [...]**. Brasília: Universidade Federal de Brasília, 2022.

LUBELLI, B.; VAN HEES, R. P.J.; GROOT, C. J.W.P. Sodium chloride crystallization in a “salt transporting” restoration plaster. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 36, n. 8, p. 1467–1474, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.027>. Acesso em: 30 abr. 2023.

LUCENAS, R. R. D. **Critérios para aplicação da termografia de infravermelho quantitativa na investigação de descolamentos cerâmicos de fachada**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022.

MACÊDO, M. S. P. H. **Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios**. 92 f. Monografia (Projeto Final) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/20484>. Acesso em: 27 dez. 2022.

MADER, D.; BLASKOW, R.; WESTFELD, P.; WELLER, C. Potential of UAV-Based laser scanner and multispectral camera data in building inspection. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Praga, v. XLI-B1, p. 1135–1142. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1135-2016>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MAGALHÃES, A. C. **Patologia de rebocos antigos**. LNEC, Cadernos de Edifícios, 2., Outubro, 2002.

MARQUES, F. P. F. M. **Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145483178/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MELO JÚNIOR, C. M.; EVANGELISTA JÚNIOR, F.; SILVA, L. S.; NEPOMUCENO, A. A. Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211-226, jul./set. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300277>. Acesso em: 7 jan. 2023.

MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. 204 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2010. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/1356>. Acesso em: 24 mai. 2023.

MELO JÚNIOR, 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**. 376 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22369>. Acesso em: 27 mar. 2023.

MENDES, M. V. A. S.; FÉ, E. P.; MELO, M. B.; MELO JÚNIOR, C. M. Damages mapping of façade using aerophotogrammetry and thermography inspection: Zoroastro Artiaga Museum – Art Deco in Brazil. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 27, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0031>. Acesso em: 12 mai. 2023.

MOTA, L. M. G. **Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa**. 179 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/43324>. Acesso em: 23 dez. 2022.

MOURA JÚNIOR, J.; PÓVOAS, Y. Mapa de danos em fachadas de uma universidade pública: Estudo de caso em dois edifícios da Escola Politécnica de Pernambuco. **Concilium**, [s. l.], v. 22, n. 7, p. 718–732, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.53660/clm-703-750>. Acesso em: 04 fev. 2023.

PEREIRA, C.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, [s. l.], v. 90, p. 103–115, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.028>. Acesso em: 29 mar. 2023.

PEREIRA, C.; SILVA, A.; DE BRITO, J. FLORES-COLEN, I. SILVESTRE, J. D. Contribution of Cracking and Spalling to the Degradation of Façade Claddings in Current Buildings. *In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 2019. Anais [...]*. Hong Kong, China: CIB, 2019. Disponível em: [https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC33884.pdf](https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC33884.pdf). Acesso em: 23 mai. 2023.

PEREIRA, C. SILVA, A.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 249, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118743>. Acesso em: 24 mai. 2023.

PEREIRA, C.; SILVA, A.; DE BRITO, J.; FERREIRA, C.; FLORES-COLEN, I.; SILVESTRE, J. D. **Uncertainty and risk analysis in inspection and diagnosis**. *In: New Trends on Building Pathology, CIB W86 Report, Publication 422*, p. 55-62, 2021.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/2451?mode=full>. Acesso em: 10 mai. 2023.

PEREIRA, V. M. Inspeção de fachadas de edificações com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). **Interação**, Varginha, MG, v. 24, n. 3, p. 95-111, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33836/Interacao.v24i3.719>. Acesso em: 23 mai. 2023.

PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/36183>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PINHEIRO, P. I. S. **Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao Estudo das Fachadas de Edifícios em Brasília**. 83 f. Monografia (Projeto Final) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/17093>. Acesso em: 28 fev. 2023.

PUIM, P.; GONÇALVES, T. D.; BRITO, V. Controlo e prevenção de anomalias devidas à cristalização de sais solúveis em edifícios antigos. *In: CONGRESSO DE PATOLOGÍA Y REHABILITACIÓN DE EDIFÍCIOS*, 4., 2012. **Anais [...]**. [s. l.]: PATORREB, 2012.

QUINTELA, M. B. O. A. **Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada**. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006.

RODRIGUES, M. P., EUSÉBIO, M. I., RIBEIRO, A. **Revestimentos por pintura: Defeitos, causas e reparação**. ITPRC 5, LNEC, Lisboa, Portugal, 2005.

RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; ROCHA, J. H. A. Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório. **Revista ALCONPAT**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 88–104, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>. Acesso em: 8 abr. 2023.

SÁ, G.; SÁ, J.; DE BRITO, J.; AMARO, B. Statistical survey on inspection, diagnosis and repair of wall renderings. **Journal of Civil Engineering and Management**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 623–636, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.890666>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SAHB, C. A. S. **Contribuição ao estudo da interface estrutura-alvenaria externa em edifícios verticais**. 418 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2005.

SANTOS, A. C. **Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo**. 195 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: [https://www.ipt.br/pos\\_graduacao\\_ipt/solucoes/dissertacoes/1139-avaliacao\\_do\\_desempenho\\_potencial\\_de\\_duas\\_solucoes\\_de\\_revestimentos\\_argamassados\\_e\\_m\\_funcao\\_do\\_risco\\_de\\_formacao\\_de\\_fungo.htm](https://www.ipt.br/pos_graduacao_ipt/solucoes/dissertacoes/1139-avaliacao_do_desempenho_potencial_de_duas_solucoes_de_revestimentos_argamassados_e_m_funcao_do_risco_de_formacao_de_fungo.htm). Acesso em: 21 mar. 2023.

SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34843>. Acesso em: 32 mai. 2023.

SANTOS, M. J. B. O. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília**. 212 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/24061>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SEDLBAUER, K. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components**. Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001. Disponível em: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/5b6ffb23-5c2c-47fd-8940-939ec9d3534f/content>. Acesso em: 21 mai. 2023.

SERRAT, C.; BANASZEK, A.; CELLMER, A.; GIBERT, V. Use of UAVs for Technical Inspection of Buildings within the BRAIN Massive Inspection Platform. **IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**, [s. l.], v. 471, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022008>. Acesso em: 16 fev. 2023.

SIEWCZYŃSKA, M.; ZIOŁO, T.. Analysis of the applicability of photogrammetry in building Façade. **Civil and Environmental Engineering Reports**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 182–206, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ceer-2022-0035>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SILVA, J. M.; VICENTE, R. **Pathology and defects of building façades and roofs**. In: A state-of-the-art report on building pathology, CIB W86 Report, Publication 393, p. 124-132, 2013.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF**. 198 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17768>. Acesso em: 07 jan. 2023.

SILVA, L. S.; ZANONI, V. A. G.; PAZOS, V. C.; SANTOS, L. M. A.; JUCÁ, T. R. P. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D**. Brasília, DF: LaSUS FAU: Editora Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/book/202>. Acesso em: 18 mar. 2023.

SOCOLOSKI, R. F. Indicadores para avaliação de anomalias em fachadas com revestimento de argamassa. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235511>. Acesso em: 09 Mai 2023.

SOUSA, R.; SILVA, F. M. S.; SOUSA, F. **Fachadas de edifícios**. Lidel: Lisboa, Portugal, 2016.

SOUSA, A. D. P.; SOUSA, G. C. L.; MAUÉS, L. M. F. Using digital image processing and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for identifying ceramic cladding detachment in building façades. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 199-213, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000200601>. Acesso em: 12 mai. 2023.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas: Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20576>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. 139 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/38369>. Acesso em: 07 fev. 2023.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos: recomendações básicas**. Olinda: Centro de Estudos de Conservação Integrada – CECI, 2009. (Textos para discussão. Série 2: gestão de restauro). Disponível em: [https://www.academia.edu/36636375/Mapa\\_de\\_Danos\\_Recomenda%C3%A7%C3%B5es\\_B%C3%A1sicas](https://www.academia.edu/36636375/Mapa_de_Danos_Recomenda%C3%A7%C3%B5es_B%C3%A1sicas). Acesso em: 03 jan. 2023.

TIRELLO, R. A.; CORREA, R. H. Sistema normativo para mapa de danos de edifícios históricos aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. In: COLÓQUIO LATINOAMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO INDUSTRIAL, 5., 2012, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Comitê Brasileiro para a Preservação do Patrimônio Industrial (TICCIH), 2012. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI\\_coloquio\\_t1\\_sistema\\_normativo\\_mapa.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t1_sistema_normativo_mapa.pdf). Acesso em: 14 mar. 2023.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**: Causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PT/EPUSP/PINI, 1989.

THOMAZ, E.; SOUSA, H.; ROMAN, H.; MORTON, J.; SILVA, J. M.; CORRÊA, M.; PFEFFERMANN, O.; LOURENÇO, P. B.; VICENTE, R. S.; SOUSA, R. **Defects in masonry walls - Guidance on cracking**: Identification, prevention and repair. CIB W23 Report, Publication 403, 2014.

TONDELO; P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio da inspeção com VANT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>. Acesso em: 23 mai. 2023.

TORRACA, G. **Lectures on materials science for architectural conservation**. The Getty Conservation Institute, 2009.

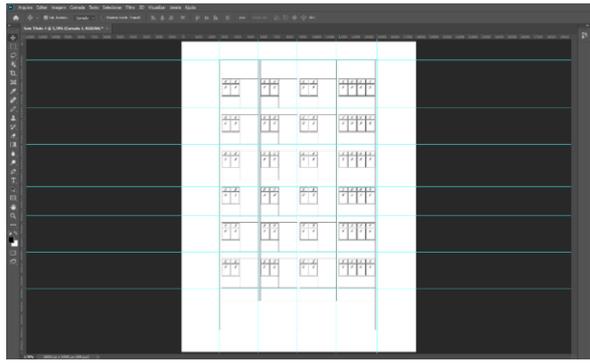
## **APÊNDICE A – Ortogonalização de imagens utilizando Adobe Photoshop**

A ortogonalização das imagens é realizada utilizando o Adobe Photoshop, sendo feita a ortorretificação das imagens parciais e a montagem do mosaico, utilizando como base o croqui da fachada. As etapas para a obtenção dos ortomosaicos, ilustradas na Figura A.1, baseiam-se nos estudos de Macêdo (2017) e Santos (2018).

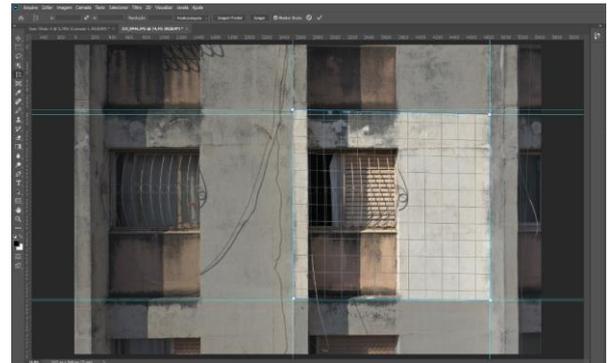
A primeira etapa é a obtenção dos croquis das amostras de fachada, realizada utilizando o *software* Autodesk AutoCAD. Os croquis são, então, salvos em formato de imagem (.jpg), para serem utilizados no Photoshop. São criadas guias no croqui para facilitar o posicionamento das imagens parciais retificadas (Figura A.1-a).

Em seguida, as imagens referentes a uma determinada amostra são abertas no Photoshop. Para recortar e retificar as imagens parciais, também podem ser criadas guias para facilitar a identificação dos cantos que formam o trecho que se deseja cortar. Em seguida, utilizando a Ferramenta Cortar Perspectiva, selecionam-se os quatro cantos em que se deseja cortar a imagem (Figura A.1-b), obtendo uma imagem parcial ortorretificada.

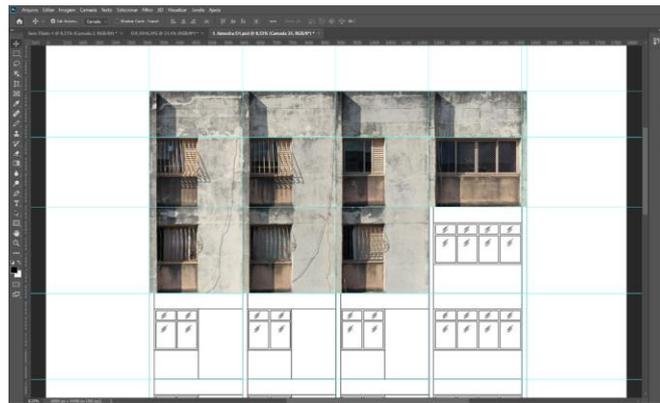
Para a montagem do ortomosaico da amostra, cada imagem parcial cortada e ortogonalizada é copiada para o arquivo em que está aberto o croqui da amostra no Photoshop, posicionando e ajustando o tamanho da imagem. A Figura A.1-c ilustra o encaixe das imagens parciais no croqui, formando o ortomosaico da amostra de fachada.



(a)



(b)



(c)

Figura A.1 – Etapas da ortogonalização utilizando Adobe Photoshop: (a) linhas criadas para facilitar o posicionamento das imagens parciais; (b) corte e ortogonalização das imagens; (c) montagem do ortomosaico da amostra.

## APÊNDICE B – Processamento digital de imagens utilizando Agisoft Metashape

O processamento digital de imagens é realizado utilizando o Agisoft Metashape, conforme as etapas apresentadas na Figura B.1, que estão de acordo com o estudo de Melo Júnior (2016). A Figura ilustra a realização do processamento, destacando as ferramentas utilizadas no menu *Workflow*. Os parâmetros selecionados em cada etapa são apresentados no Quadro B.1 e comentados em seguida. As especificações dos computadores utilizados no presente estudo são apresentadas na Tabela B.1.

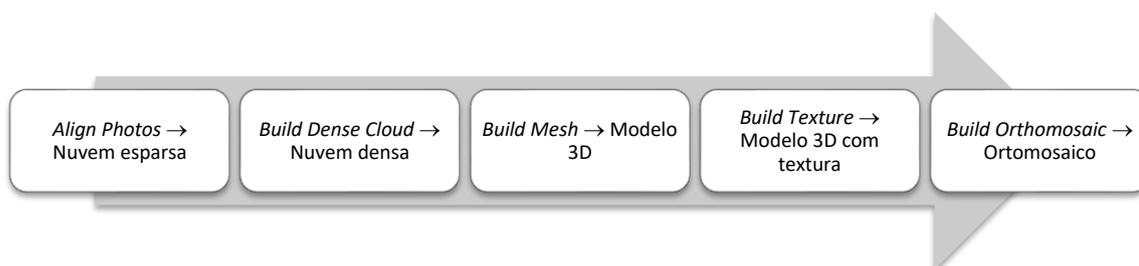


Figura B.1 – Etapas do processamento digital de imagens para a obtenção de ortomosaicos.

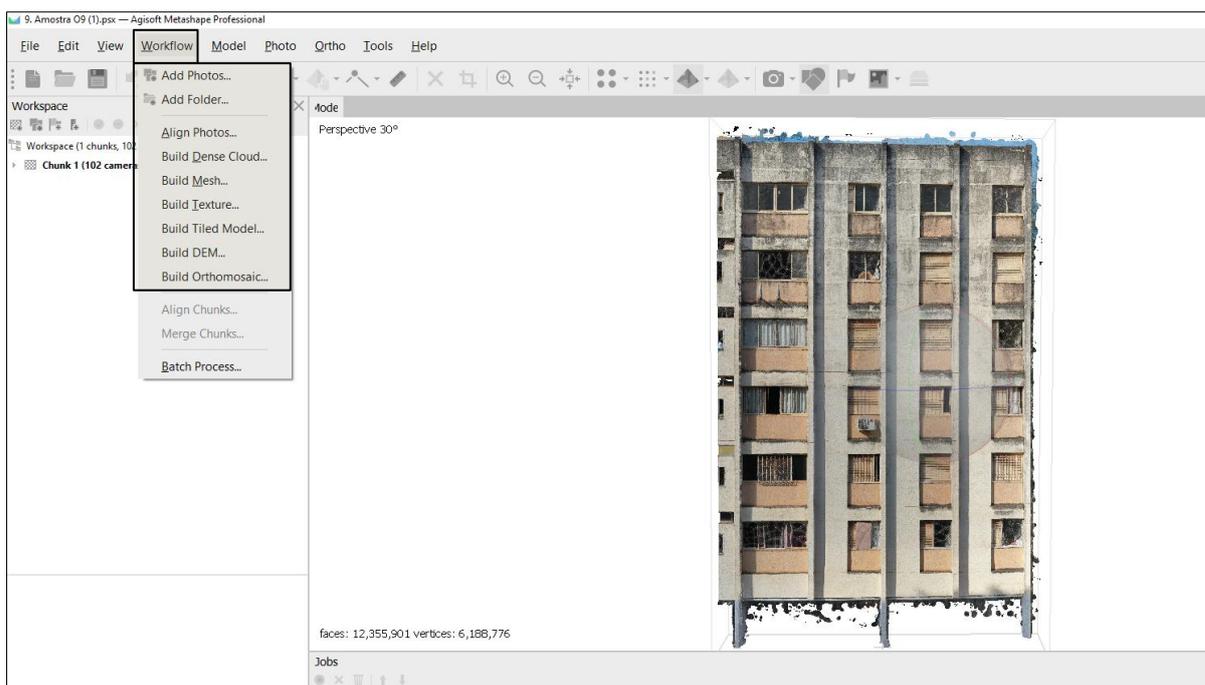


Figura B.2 – Exemplo de processamento no Agisoft Metashape, com destaque para as ferramentas utilizadas no menu *Workflow*.

Para iniciar o processo, utiliza-se a opção *Add Photos*, para abrir todas as imagens referentes à amostra de fachada. Para verificar se a qualidade das imagens é adequada, seleciona-se a opção *Estimate Image Quality*, clicando com o botão direito em uma das imagens, sendo descartadas aquelas com qualidade inferior a 0,8, que podem atrapalhar o processamento.

Destaca-se que, nas etapas de alinhamento (*Align Photos*), obtenção de nuvem densa (*Build Dense Cloud*) e obtenção de modelo (*Build Mesh*), procura-se utilizar precisão (*accuracy*), qualidade (*quality*) e contagem de faces (*face count*) altas (*high*).

Quadro B.1 – Parâmetros utilizados em cada etapa do processamento.

<b>Etapa</b>	<b>Parâmetros</b>	
<i>Align Photos</i>	<i>Accuracy</i>	<i>High</i>
	<i>Generic preselection</i>	<i>Enabled</i>
<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality</i>	<i>High</i>
	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>
<i>Build Mesh</i>	<i>Source data</i>	<i>Dense cloud</i>
	<i>Surface type</i>	<i>Arbitrary</i>
	<i>Interpolation</i>	<i>Enabled</i>
	<i>Face count</i>	<i>High</i>
<i>Build Texture</i>	<i>Mapping mode</i>	<i>Orthophoto</i>
	<i>Blending mode</i>	<i>Mosaic</i>
	<i>Hole filling</i>	<i>Enabled</i>
<i>Build Orthomosaic</i>	<i>Projection type</i>	<i>Planar</i>
	<i>Projection plane</i>	<i>Markers</i>
	<i>Surface</i>	<i>Mesh</i>
	<i>Blending mode</i>	<i>Mosaic</i>
	<i>Hole filling</i>	<i>Enabled</i>

Tabela B.1 – Especificações dos computadores utilizados.

<b>Computador</b>	<b>Processador</b>	<b>Memória RAM (GB)</b>
1	Intel® Core™ i7-8750H	16
2	Intel® Core™ i9-9900K	64

Para realizar o alinhamento das imagens, seleciona-se a ferramenta *Align Photos*, que dá origem à nuvem de pontos esparsa, deixando habilitada a pré-seleção genérica (*generic preselection*). Na construção da nuvem densa, utiliza-se a filtragem de profundidade (*depth filtering*) no modo suave (*mild*), recomendada quando a geometria do objeto é complexa. Na etapa de construção do modelo, utiliza-se como fonte de dados a nuvem densa e seleciona-se o tipo de superfície (*surface type*) arbitrária (*arbitrary*), que pode ser utilizada para qualquer objeto, além de deixar a opção de interpolação habilitada (*interpolation enabled*).

Para a obtenção da textura do modelo, seleciona-se a ferramenta *Build Texture*, escolhendo a opção ortofoto (*orthophoto*) para o modo de mapeamento (*mapping mode*), considerando que

o objetivo final é a obtenção do ortomosaico da fachada. Já o modo de mesclagem (*blending mode*) determina como os *pixels* de diferentes imagens serão combinados para formar a textura, sendo escolhida a opção de mosaico (*mosaic*). E a opção de preenchimento de orifícios é mantida habilitada (*enable hole filling*).

Finalmente, para se construir o ortomosaico, utiliza-se a ferramenta *Build Orthomosaic*. Nessa etapa, é selecionado o tipo de projeção (*projection type*) planar e o plano de projeção (*projection plano*) utilizado é com marcadores (*markers*), que podem ser adicionados ao modelo para marcar as direções horizontal e vertical do ortomosaico. Novamente, o modo de mesclagem utilizado é o mosaico e a opção de preenchimento de orifícios é mantida habilitada.

Após o processamento, utiliza-se o *software* Adobe Photoshop para recortar os ortomosaicos e retirar as bordas indesejadas. Assim, obtém-se os produtos adequados para sobrepor aos croquis das amostras de fachada para realizar o mapeamento de danos.

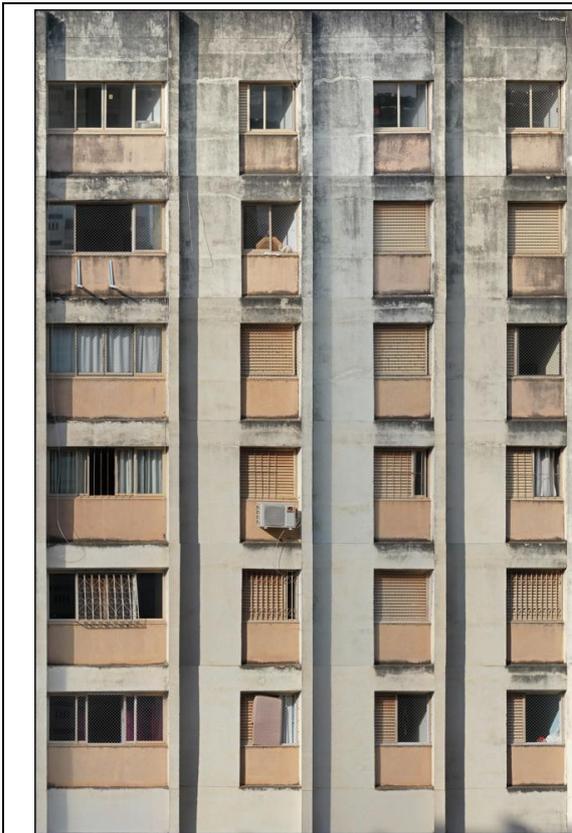
## APÊNDICE C – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização

Os ortomosaicos obtidos por ortogonalização, utilizando Adobe Photoshop, são apresentados no Quadro C.1.

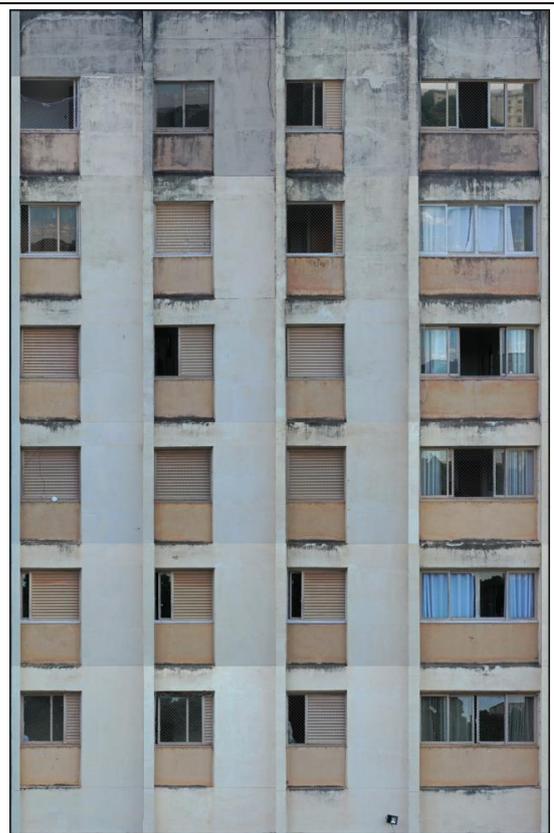
Quadro C.1 – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização.



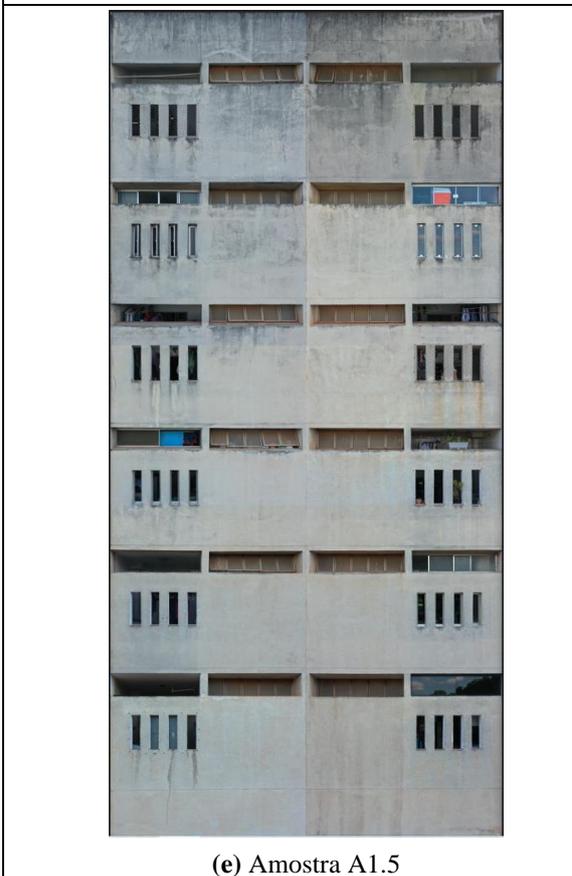
Quadro C.1 – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização (continuação).



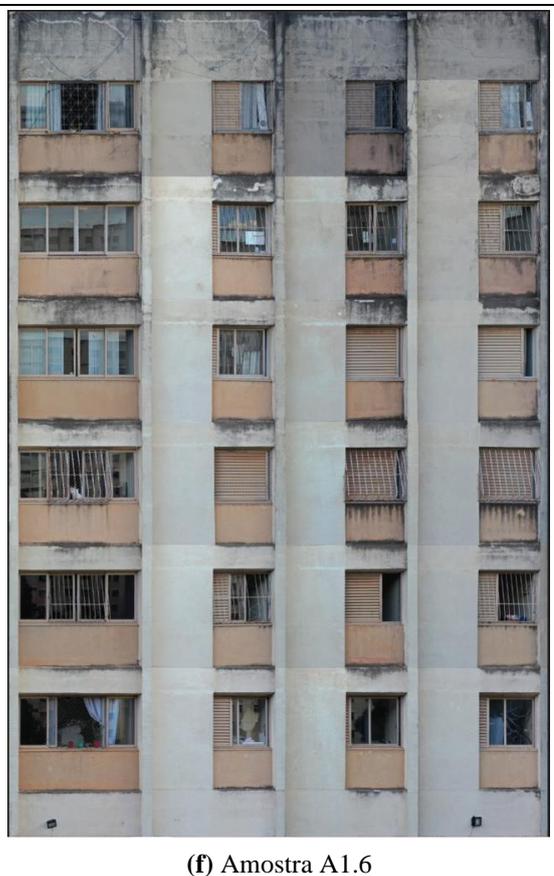
(c) Amostra A1.3



(d) Amostra A1.4



(e) Amostra A1.5

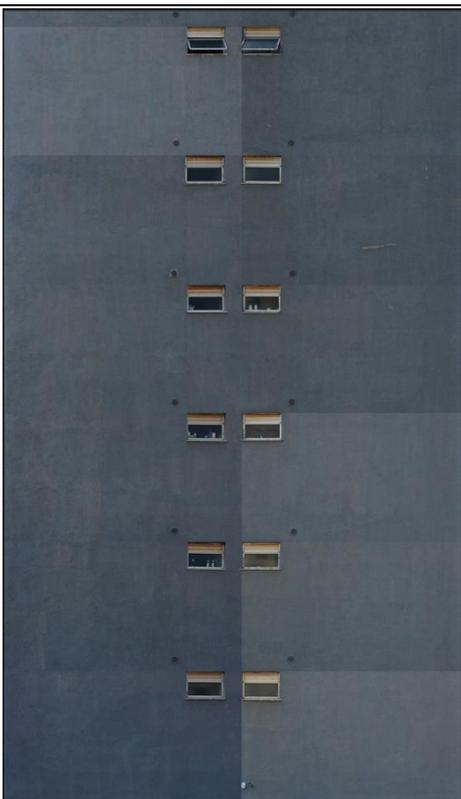


(f) Amostra A1.6

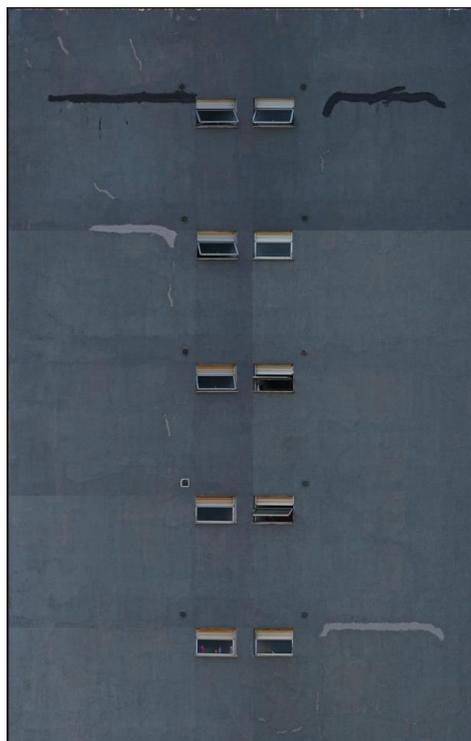
Quadro C.1 – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização (continuação).



Quadro C.1 – Ortomosaicos obtidos por ortogonalização (continuação).



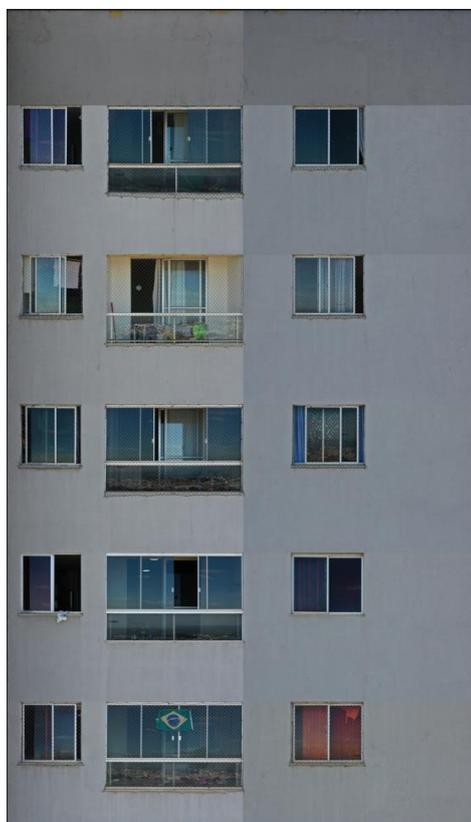
(a) Amostra A3.1



(b) Amostra A3.2



(c) Amostra A3.3



(d) Amostra A3.4

## APÊNDICE D – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens

Os ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens, utilizando Agisoft Metashape, são apresentados no Quadro D.1.

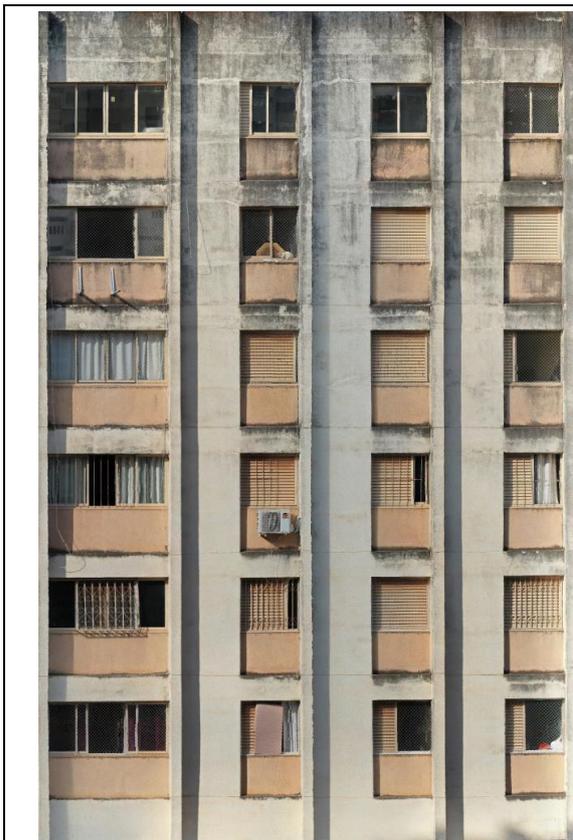
Quadro D.1 – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens.



(a) Amostra A1.1

(b) Amostra A1.2

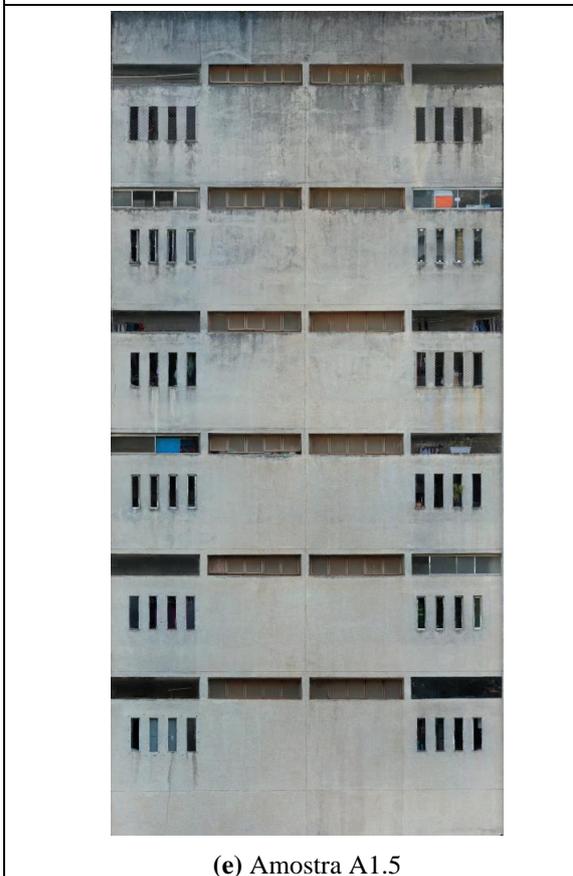
Quadro D.1 – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens (continuação).



(c) Amostra A1.3



(d) Amostra A1.4

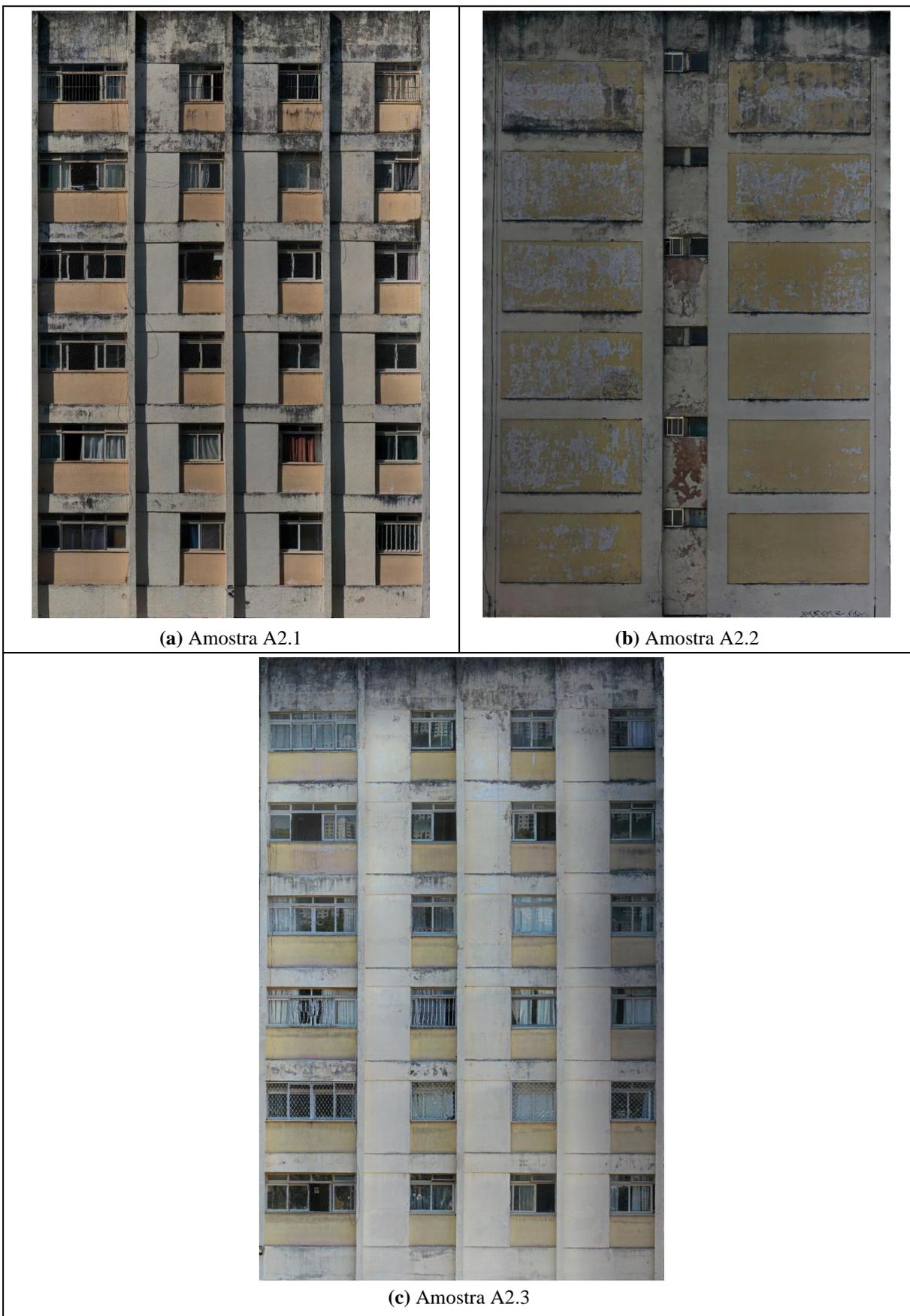


(e) Amostra A1.5

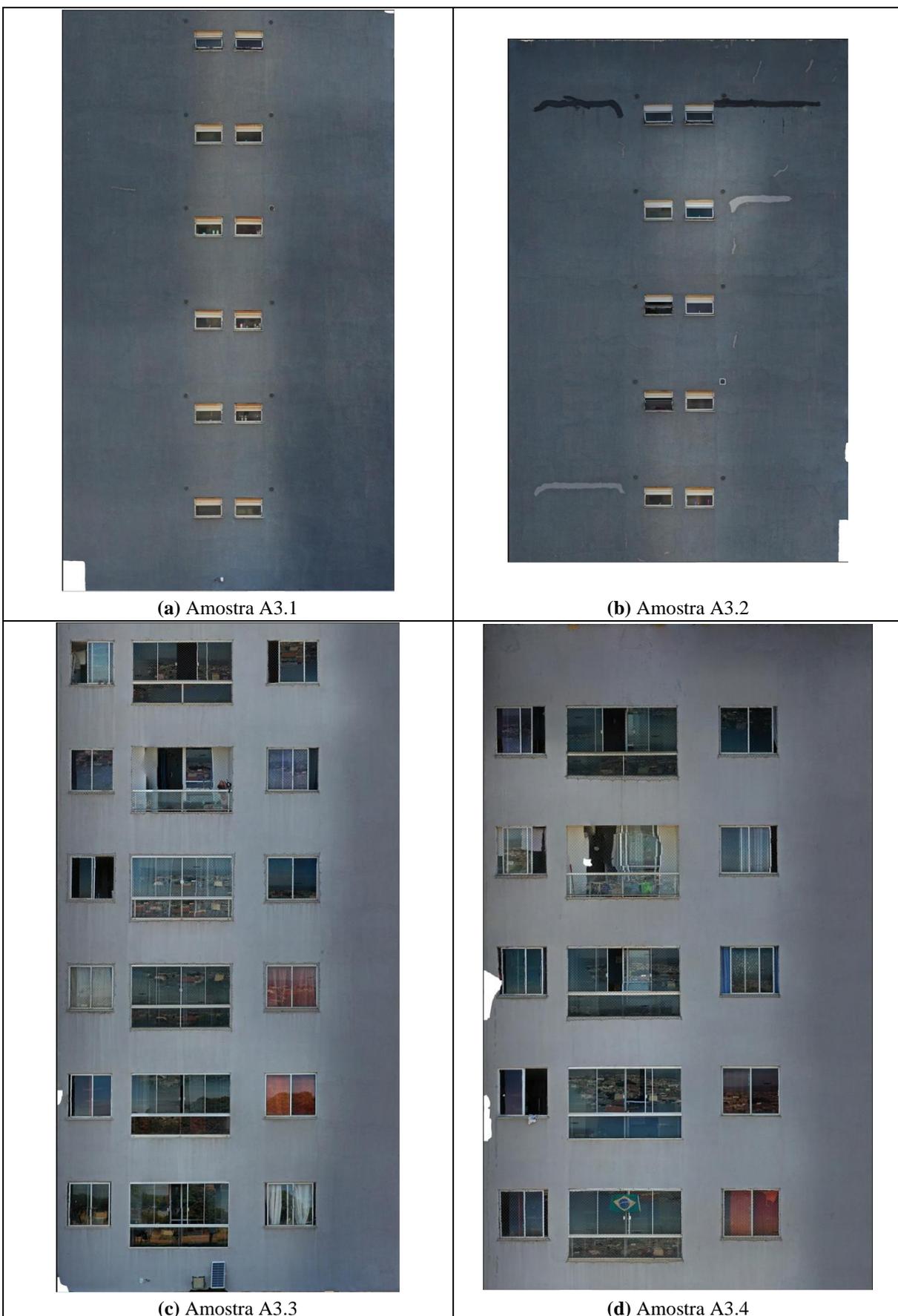


(f) Amostra A1.6

Quadro D.1 – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens (continuação).



Quadro D.1 – Ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens (continuação).



## APÊNDICE E – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa

A caracterização dos diferentes tipos de anomalias em revestimento de argamassa é apresentada no Quadro E.1.

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa.

ANOMALIAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA			
<u>Tipologia:</u>			
Ocorrência:	Localizada ou generalizada		
Posição:	Horizontal, vertical, inclinada ou sem definição		
Configuração:	Linear, em malha, por trecho ou em toda a extensão da fachada		
Agrupamento:	Repetitivo, isolado ou aleatório		
Origem:	Base, revestimento ou elementos adjacentes		
Elementos próximos:	Pilar, viga, laje, aberturas, juntas, peitoril/pingadeira ou sem definição		
<u>Mecanismo:</u> Forma de ocorrência da anomalia			
FISSURA			
Aberturas longitudinais longas e finas no revestimento.			
Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA01	Fissuras nos vértices de aberturas. <u>Tipologia:</u> Posição:       Inclinada, horizontal, vertical Configuração:   Linear Agrupamento:   Isolado Ocorrência:      Localizada Origem:          Base Elementos próximos: Aberturas	Fissuração no entorno de aberturas, que se inicia devido à concentração de esforços nesses locais. As aberturas consistem em pontos mais suscetíveis à fissuração, pois são regiões em que ocorre maior concentração de esforços devido a deformações da envoltória do edifício e à exposição à radiação solar. Essas fissuras podem ainda se manifestar conforme a influência de diversos fatores intervenientes, como: configuração das aberturas (vãos) no painel de alvenaria, materiais utilizados e configuração de vergas e contravergas (GASPAR, 2009; SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989).	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA02	<p>Fissuras por retração generalizadas, em malhas grandes.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Malha</p> <p>Agrupamento: Repetitivo</p> <p>Ocorrência: Generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Fissuração em malhas grandes, associada à retração da argamassa de revestimento. Com a secagem progressiva, há uma deformação na estrutura da pasta de cimento hidratada, ocorrendo a redução de volume da pasta (retração), o que dá origem à fissuração. Trata-se de fissuração decorrente do processo de formulação e de execução do revestimento, podendo ser influenciada pela exposição à radiação solar durante a secagem (GASPAR, 2009; SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
FA03	<p>Fissuras por retração generalizadas, em malhas finas.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Malha</p> <p>Agrupamento: Repetitivo</p> <p>Ocorrência: Generalizada, localizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Fissuração em malhas finas, associada à retração da argamassa de revestimento, decorrente da formulação e execução do revestimento, sendo influenciada pela exposição à radiação solar (GASPAR, 2009; SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989). Ocorre em revestimentos com excesso de manuseio ou incoerência no traço (excesso de finos, excesso de água), o que faz com que haja a migração da água para a superfície, ocorrendo a retração e consequente fissuração. Se manifesta de forma mais superficial do que a fissura em malhas grandes.</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>
FA04	<p>Fissuras aleatórias pequenas, por sarrafeamento precoce.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Linear, malha</p> <p>Agrupamento: Aleatório, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Fissuração provocada pela realização precoce ou excessiva do acabamento superficial do revestimento (sarrafeamento e desempenho), o que acelera a exsudação, havendo a fissuração prematura da argamassa (SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

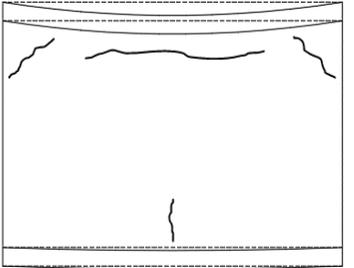
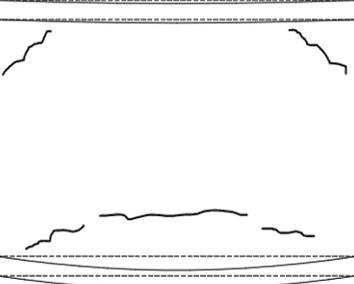
Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA05	<p>Fissuras próximas aos vértices da sacada.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Base</p> <p>Elementos próximos: Laje, viga, sem definição</p>	<p>Fissuração decorrente de esforços transmitidos à alvenaria devido à deflexão excessiva da viga da região de balanço, ocasionando o surgimento de fissuras de cisalhamento na alvenaria (próximo aos vértices da sacada) ou nos encontros entre alvenaria e estrutura, decorrente do destacamento entre esses elementos (SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
FA06	<p>Fissuras predominantemente horizontais, abaixo da laje, no último pavimento.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Localizada, generealizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Laje, viga</p>	<p>Fissuração decorrente da deformação da laje no plano horizontal, causada por variação térmica. A laje de cobertura se aquece mais do que o restante da edificação, devido a sua localização e grande superfície de exposição, apresentando maior movimentação térmica (dilatação e contração). Dada a diferença entre a temperatura externa e a interna, a laje sofre tanto uma dilatação plana (na horizontal) quanto um abaulamento (para cima) provocado pela associação do gradiente térmico às restrições de movimentações laterais impostas pelas vigas e pilares de apoio, introduzindo esforços de tração e de cisalhamento nas paredes da edificação. Dessa forma, dependendo da magnitude do gradiente térmico, poderão surgir fissuras horizontais na alvenaria, logo abaixo da laje (SAHB, 2005; THOMAZ, 1989; THOMAZ <i>et al.</i>, 2014).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

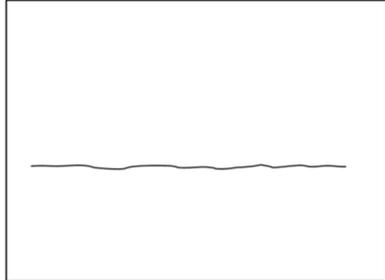
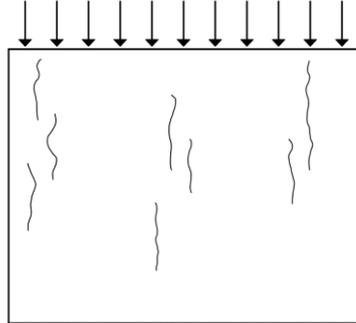
Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA07	<p>Fissuras na platibanda.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal, inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Viga, laje, peitoril/pingadeira, sem definição</p>	<p>Fissuração na platibanda decorrente de deformações na laje de cobertura, causadas por variação térmica. Devido à sua grande superfície de exposição, a laje de cobertura se aquece mais do que o restante da edificação, apresentando uma maior deformação. A alvenaria de platibanda não acompanha a deformação da laje, surgindo esforços de tração que resultam na sua fissuração (SAHB, 2005; SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>
FA08	<p>Fissuras horizontais acompanhando a interface entre laje/viga e alvenaria.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Viga, laje, aberturas</p>	<p>Fissuração decorrente da deformação diferenciada entre laje/viga e alvenaria. As propriedades físicas (em especial os coeficientes de dilatação térmica) dos materiais que compõem os elementos estruturais são diferentes dos que compõem a alvenaria, o que realça esforços gerados por movimentações de origem higrotérmica ou deformação estrutural, gerando uma região de cisalhamento na interface entre a alvenaria e a estrutura (laje/viga), onde ocorrem as fissuras (SAHB, 2005; SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>
FA09	<p>Fissuras verticais acompanhando a interface entre pilar e alvenaria.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Vertical</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolada</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Pilar</p>	<p>Fissuração decorrente da deformação diferenciada entre pilar e alvenaria. As propriedades físicas (em especial os coeficientes de dilatação térmica) dos materiais que compõem os elementos estruturais são diferentes dos que compõem a alvenaria, o que realça esforços gerados por movimentações de origem higrotérmica ou deformação estrutural, gerando uma região de cisalhamento na interface entre a alvenaria e o pilar, onde ocorrem as fissuras (SAHB, 2005; SANTOS, 2017; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA10	<p>Fissuras devido a deformação da viga de suporte inferior à deformação da viga superior.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal, vertical, inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Laje, viga</p>	<p>Fissuração decorrente de deformação da viga superior maior do que a deformação da viga inferior, sendo induzidos esforços de flexão na alvenaria. Dessa forma a alvenaria se comporta como uma viga sob flexão. Porém, quando os esforços causados por essa deflexão são maiores do que a resistência da alvenaria, ocorre a fissuração (THOMAZ, 1989; THOMAZ <i>et al.</i>, 2014).</p>	 <p>Fonte: Autora.</p>
FA11	<p>Fissuras devido a deformação da viga de suporte maior que a deformação da viga superior.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal, inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes, base</p> <p>Elementos próximos: Laje, viga</p>	<p>Fissuração decorrente de deformação da viga de suporte superior à deformação da viga superior. Assim, surgem fissuras inclinadas nos cantos superiores da parede, devido ao carregamento não uniforme da viga superior sobre a alvenaria, pois há uma tendência de carregamento maior nos cantos das paredes. Na parte inferior do pano de alvenaria, surge uma fissura horizontal, que também pode se manifestar formando um arco em direção aos vértices inferiores do painel (THOMAZ, 1989; THOMAZ <i>et al.</i>, 2014).</p>	 <p>Fonte: Autora.</p>
FA12	<p>Fissuras devido ao recalque diferencial de fundações.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>Origem: Elementos adjacentes</p> <p>Elementos próximos: Pilar, aberturas, sem definição</p>	<p>Fissuração decorrente de assentamento diferencial do terreno, resultando em recalque diferencial das fundações. Assim, surgem fissuras inclinadas na direção de maior recalque, se manifestando principalmente próximo a aberturas, por ser uma região mais suscetível à fissuração, mas também em outras regiões da fachada, como paredes contínuas e cantos e extremidades da edificação (GASPAR, 2009; THOMAZ <i>et al.</i>, 2014).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA13	<p>Fissuras inclinadas em paredes contínuas.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Inclinada</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Base, elementos adjacentes</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Fissuração diagonal decorrente da combinação de esforços principais de tração e de compressão, podendo também ocorrer simultaneamente com a ruptura parcial por tração ou por compressão nas unidades da alvenaria (que ocorre em paredes com elevados níveis de esforços de compressão). Nesse tipo de fissuração, as forças de corte associadas às ações horizontais atuam simultaneamente às forças de compressão associadas às ações verticais (SOUSA; SILVA; SOUSA, 2016).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>
FA14	<p>Fissuras horizontais em paredes contínuas.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Horizontal</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Base, elementos adjacentes</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Fissuração proveniente da ruptura por compressão dos componentes da alvenaria, da argamassa de assentamento ou de solicitações de flexocompressão da parede. Ocorre em trechos contínuos de alvenarias solicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas (THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Autora.</p>
FA15	<p>Fissuras verticais em paredes contínuas.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Vertical</p> <p>Configuração: Linear</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Base, elementos adjacentes</p> <p>Elementos próximos: Sem definição, viga, laje</p>	<p>Fissuração proveniente da deformação transversal da argamassa sob a ação de esforços de compressão, ou da flexão local dos componentes de alvenaria. Ocorre em trechos contínuos de alvenarias solicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas (THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Autora.</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
FA16	<p>Fissuras inclinadas devido a sobrecarga pontual.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>    Posição: Inclinada</p> <p>    Configuração: Linear</p> <p>    Agrupamento: Isolado</p> <p>    Ocorrência: Localizada</p> <p>    Origem: Elementos adjacentes</p> <p>    Elementos próximos: Viga</p>	<p>Fissuração decorrente de sobrecarga localizada (concentrada), que provoca a ruptura dos componentes da alvenaria na região de aplicação da carga e/ou o surgimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação, devido ao esmagamento localizado da alvenaria (GASPAR, 2009; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
FA17	<p>Fissuras decorrentes da presença de umidade.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>    Posição: Horizontal, vertical, inclinada, sem definição</p> <p>    Configuração: Linear</p> <p>    Agrupamento: Repetitivo, isolado, aleatório</p> <p>    Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>    Origem: Revestimento</p> <p>    Elementos próximos: Viga, aberturas, peitoril/pingadeira, sem definição</p>	<p>Fissuração decorrente de ciclos de molhagem e secagem do revestimento. O aumento do teor de umidade acarreta a expansão do material e a redução do teor de umidade leva à sua contração. Com as restrições de movimentação, isso pode resultar na ocorrência de fissuras. Os ciclos de molhagem e secagem podem provocar microfissuras nos revestimentos que, progressivamente, permitem penetrações de água cada vez maiores, aumentando as movimentações e a incidência de fissuras. Esse tipo de fissuração ocorre de forma mais acentuada em regiões em que ocorra maior incidência de água.</p> <p>A ausência de detalhes construtivos que interrompam o fluxo de água (peitoris, saliências, entre outros) também contribuem para a ocorrência dessas fissuras (SAHB, 2005; THOMAZ, 1989).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

DESCOLAMENTO			
Estufamentos ou mudanças de relevo no revestimento, podendo, ainda, ser observada a ausência de parte do revestimento. Os descolamentos podem estar acompanhados de fissuras e manchas.			
Nomenclatura	Caracterização	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
DA01	<p>Descolamento decorrente de retração do revestimento.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda extensão</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Generalizada, localizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Descolamento ocasionado pelo isolamento de contato ou por perda de aderência do revestimento argamassado com o substrato, devido a esforços provocados pela retração da argamassa, decorrente de movimentações higrotérmicas. Esse local de descolamento pode então se tornar um ponto de dissipação de esforços, que aumentam de acordo com as movimentações que ocorrem no revestimento (PEREIRA, 2007; SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
DA02	<p>Descolamento decorrente de fissuração e entrada de água.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho</p> <p>Agrupamento: Isolado</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Peitoril/pingadeira, aberturas, sem definição</p>	<p>Os esforços decorrentes de movimentações cíclicas de origem higrotérmica provocam esforços na alvenaria, causando fissuração que, em um estágio avançado e conjuntamente com o ingresso de água, contribuem para a ocorrência de descolamento.</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>

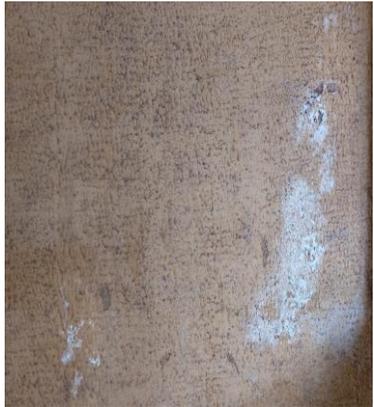
Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

MANCHA			
Ocorrência de diferenças de coloração no revestimento, usualmente associada à presença de umidade, podendo se manifestar com escorrimentos. Geralmente, se caracterizam por coloração escura (marrom, cinza ou preta). Pode estar relacionada à formação de micro-organismos ou ao depósito de sujidades no revestimento.			
Nomenclatura	Caracterização	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
MA01	<p>Manchas por acúmulo de água.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Isolado, repetitivo</p> <p>Ocorrência: Localizada</p> <p>Origem: Revestimento, elementos adjacentes</p> <p>Elementos próximos: Peitoril/pingadeira, aberturas, juntas, viga</p>	<p>O acúmulo de água decorrente da inexistência ou ineficiência de detalhes construtivos que regulem o fluxo de água (peitoris, pingadeiras e outros), aliada com a porosidade do revestimento e a presença de fissuras, contribuem para o manchamento nas regiões em que há acúmulo de umidade. O fluxo de água ocorre em trajetórias preferenciais, de acordo com a configuração dos detalhes da fachada. Os ciclos sucessivos de escorrimento aumentam o depósito de partículas, e as partículas de escoamentos anteriores absorvem a água dos novos escoamentos, e assim conservam uma maior umidade nessa zona, o que favorece novos depósitos de partículas com o passar do tempo. Além do acúmulo de sujidade, os sucessivos escoamentos de água são propícios para o desenvolvimento de micro-organismos (SANTOS, 2019; SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
MA02	<p>Manchas na parede contínua.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, isolado, aleatório</p> <p>Ocorrência: Generalizada, localizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>Os panos contínuos com geometria plana possibilitam um maior fluxo de água pela fachada e a umidade provoca condições propícias para a fixação de sujidades e o surgimento de fungos. A porosidade dos materiais que compõem a fachada, juntamente com as temperaturas favoráveis e os nutrientes necessários disponíveis, permitem o desenvolvimento de micro-organismos com diferentes intensidades, a depender do grau de umidade da região (SANTOS, 2019; SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

Nomenclatura	Tipologia	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
MA03	<p>Manchas no topo.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, aleatório</p> <p>Ocorrência: Generalizada, localizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Peitoril/pingadeira, sem definição</p>	<p>As manchas em fachadas afetam principalmente o topo e as laterais, onde incide a parábola de molhagem. A maior incidência de chuva na região do topo e a ausência de detalhes construtivos que regulem o fluxo de água, tornam a região uma zona de concentração de umidade, favorável ao acúmulo de partículas de sujeira e ao desenvolvimento de micro-organismos. A umidade, a temperatura, o pH e a quantidade ideal de oxigênio são fatores determinantes para o desenvolvimento de fungos (MELO JÚNIOR, 2010; SANTOS, 2019; SANTOS, 2017).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>
MA04	<p>Termoforese.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Repetitivo</p> <p>Ocorrência: Generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Pilar, viga</p>	<p>A ocorrência de termoforese está relacionada à presença de umidade na parede, principalmente quando há ausência de isolamento térmico e quando são utilizados rebocos de pequena espessura. Além disso, os materiais mais porosos absorvem maiores quantidades de umidade e demoram a perdê-la. Assim, a presença de umidade juntamente com as variações de temperatura contribuem para comportamentos diferenciais da argamassa. Dessa forma, ocorre a deposição diferencial de sujidades na fachada, evidenciando os elementos estruturais e as juntas de assentamento da alvenaria (GASPAR, 2009).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

EFLORESCÊNCIA			
Ocorrência de manchas com coloração branca, associadas à presença de umidade, podendo apresentar escorrimentos e, ainda, a concentração de sais (pó branco) na superfície, com um aspecto pulverulento.			
Nomenclatura	Caracterização física	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
EA01	<p>Eflorescência.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho</p> <p>Agrupamento: Isolado, aleatório</p> <p>Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição, aberturas, juntas, peitoril/ pingadeira</p>	<p>A eflorescência ocorre quando a fachada fica umedecida por longos períodos, de forma que os sais solúveis presentes na argamassa e na alvenaria se dissolvem e são levados para a superfície do revestimento. Nesse momento, ocorre a evaporação da água e a cristalização dos sais de forma expansiva, formando depósitos salinos esbranquiçados na fachada. Para que ocorra essa anomalia, é necessária a existência simultânea de três fatores: a presença de água; a existência de sais solúveis em água nos materiais constituintes do revestimento ou da base; e condições ambientais favoráveis à secagem do revestimento (GASPAR, 2009; LUBELLI; VAN HEES; GROOT, 2006; MAGALHÃES, 2002; PUIM; GONÇALVES; BRITO, 2012).</p>	 <p>Fonte: Autora (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

PULVERULÊNCIA			
Perda de coesão (desagregação) entre os componentes da argamassa, que esfarela, conduzindo ao desprendimento do material na forma de pó ou grânulos. Em estágios avançados, pode se manifestar pela perda localizada de massa (erosão) da argamassa.			
Nomenclatura	Caracterização física	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
PA01	<p>Pulverulência ou desagregação.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, isolado, aleatório</p> <p>Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição, aberturas, peitoril/pingadeira</p>	<p>A pulverulência se caracteriza pela desagregação dos componentes da argamassa de revestimento, conduzindo ao desprendimento do material na forma de pó ou grânulos.</p> <p>Uma argamassa com pulverulência não apresenta resistência mecânica superficial adequada, o que é comprovado pelo seu esfarelamento ao se friccionar a superfície. A pulverulência pode ocorrer devido a esforços de expansão relacionados à presença de umidade e à cristalização de sais, à ação de micro-organismos, que podem resultar no ataque químico aos materiais do revestimento, e à reação química entre os materiais e os compostos do ambiente (CARASEK <i>et al.</i>, 2011; GASPAR, 2009; MAGALHÃES, 2002; MOTA, 2021).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>

Quadro E.1 – Caracterização de anomalias em revestimentos de argamassa (continuação).

ANOMALIAS NA PINTURA			
Presença de bolhas, fissuras, descolamentos e outras anomalias na película de pintura.			
Nomenclatura	Caracterização física	Mecanismo	Imagem Ilustrativa
AP01	<p>Fissuras, bolhas ou descolamentos na pintura.</p> <p><u>Tipologia:</u></p> <p>Posição: Sem definição</p> <p>Configuração: Por trecho, em toda a extensão</p> <p>Agrupamento: Repetitivo, isolado, aleatório</p> <p>Ocorrência: Localizada, generalizada</p> <p>Origem: Revestimento</p> <p>Elementos próximos: Sem definição</p>	<p>As anomalias da pintura podem ocorrer principalmente devido à degradação e enrijecimento da película de tinta, ingresso de água no substrato, deformação excessiva do substrato e base contaminada por sais. A ação contínua da radiação ultravioleta e as variações climáticas cíclicas podem provocar a degradação da resina, material polimérico da pintura. Isso pode resultar na perda de aderência da camada de pintura, causando descolamento, ou no enrijecimento da película de tinta, resultando em fissuras. O ingresso de água no substrato pode provocar a ocorrência de bolhas na pintura, devido à retenção de umidade. A deformação excessiva do substrato, excedendo a elasticidade da pintura, pode resultar em fissuras na película. E a cristalização de sais da base também pode ser responsável pela ocorrência de bolhas e posterior descolamento da pintura (CHAI, 2011; MARQUES, 2013; MOTA, 2021).</p>	 <p>Fonte: Bauer (arquivo pessoal).</p>