

**MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM
ARGAMASSA EMPREGANDO A INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

MARIANA SARNÍCOLA PIRES HOLANDA DE MACÊDO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM
ARGAMASSA EMPREGANDO A INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

MARIANA SARNÍCOLA PIRES HOLANDA DE MACÊDO

ORIENTADOR: ELTON BAUER

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

BRASÍLIA/DF, DEZEMBRO DE 2017

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

**MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM
ARGAMASSA EMPREGANDO A INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

MARIANA SARNÍCOLA PIRES HOLANDA DE MACÊDO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. Elton Bauer, Dr. (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)**

**Jéssica Siqueira de Souza, (ENC/UnB)
(EXAMINADORA)**

**João Henrique da Silva Rêgo, Dr. (ENC/UnB)
(EXAMINADOR)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 5 DE DEZEMBRO DE 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

MACÊDO, MARIANA SARNÍCOLA PIRES HOLANDA DE

Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios.

[Distrito Federal] 2017.

xii, 92 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2017)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachada em argamassa 2. Degradação

3. Desempenho 4. Patologia

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACÊDO, M. S. P. H. (2017). Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mariana Sarnícola Pires Holanda de Macêdo

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2017

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

Mariana Sarnícola P. H. de Macêdo

SQN 108 bloco K ap. 508

70744-110 – Brasília/DF – Brasil

mariana.sarnicola@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Bauer, pela oportunidade de trabalho, por sua orientação, empolgação e motivação, que foram essenciais ao longo desta pesquisa.

Ao meu pai, por sempre acreditar em mim e mostrar que atitudes valem mais do que palavras.

Aos meus avós, pelo apoio, e em especial à minha Abuela, por sempre me incentivar na busca contínua pelo conhecimento.

Aos meus irmãos Santi, Clarita e Malu por me fazerem sorrir todos os dias.

Ao Alberto, meu amigo de trabalhos quase perfeitos e de longas conversas filosóficas, pela ajuda e apoio no trabalho e no curso de Engenharia Civil.

Ao meu namorado Lucas, que me introduziu ao Minitab, me ajudou com os anexos, ajudou na contagem de “quadrados” e me ouviu falar tanto sobre esta pesquisa.

À minha mãe, quem me ensinou a amar os livros e minha companheira de todos os momentos, pela ajuda com a revisão e pelos chás para me manter acordada.

RESUMO

MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA EMPREGANDO A INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS

Autor: Mariana Sarnícola P. H. de Macêdo

Orientador: Elton Bauer

Brasília, dezembro de 2017

As fachadas atuam protegendo o edifício e, por esta razão, recebem maior influência dos agentes de degradação, tais como radiação solar e chuva dirigida. O estudo desta degradação contribui para a escolha mais adequada de soluções construtivas e de materiais, bem como para a prevenção e reparo de patologias. Com este intuito, propõe-se a identificação e análise da ocorrência de anomalias em fachadas em argamassa por meio do estudo de caso de três edifícios situados em Brasília, visando a obtenção de padrões e tendências de degradação. Inicialmente, foram selecionadas as patologias mais relevantes para fachadas em argamassa; são elas: fissuras, manchas, falhas nas pinturas (bolhas, fissura e descolamento), pulverulência, descolamento e eflorescência. A metodologia empregada consiste na inspeção de edifícios e utilização de fotografias para a construção de panoramas ortogonalizados para mapeamento e quantificação das áreas degradadas. A análise dos dados baseia-se no fator de danos (FD), calculado como a soma das áreas afetadas por cada anomalia estudada em relação ao tamanho da amostra. Analisou-se a distribuição do FD das amostras e a influência da orientação cardinal e da região da fachada na ocorrência de patologias. Foi identificado que manchas e fissuras são as falhas mais recorrentes nas fachadas em argamassa, sobretudo na região de topo. E que a distribuição do FD tem tendência central, revelando ser a média um valor expressivo de comparação. Observou-se, também, que a degradação de fachadas no oeste é superior a do leste, o que vai ao encontro dos padrões de incidência de radiação solar e chuva dirigida observados em Brasília.

Palavras-chave: Fachada em argamassa, Degradação, Desempenho, Patologia.

ABSTRACT

DEGRADATION MENSUREMENT OF MORTAR FAÇADES USING BUILDING INSPECTION

Author: Mariana Sarnicola P. H. de Macêdo

Supervisor: Elton Bauer

Brasília, December 2017

The façades act to protect the building and, for this reason, they receive the greatest influence of the degradation agents, such as solar radiation and wind-driven rain. The study of this degradation contributes to a more appropriate choice of constructive solutions and of materials, as well as for the prevention and repair of pathologies. With this purpose, this research proposes the identification and analysis of the occurrence of anomalies in mortar façades by means of a case study of three buildings located in Brasília, aiming to obtain degradation patterns and tendencies. Initially, the most relevant pathologies for mortar façades were selected; they are: cracking, staining, paint faults (blister, cissing and sagging), pulverulence, detachment and efflorescence. The methodology used is the inspection of buildings and the use of photographs for the construction of orthogonalized panoramas for mapping and quantification of degraded areas. Data analysis is based on the damage factor (FD), calculated as the sum of the areas affected by each anomaly studied in relation to the sample size. The distribution of the samples' FD and the influence of the cardinal orientation and the region of the façade in the occurrence of pathologies were analyzed. It was identified that staining and cracking are the most recurrent failures in mortar façades, especially in the top region. And that the distribution of FD has a central tendency, revealing that the average is an expressive value of comparison. It was also observed that the degradation of façades in the West is superior to that of the East, which is in accordance with the patterns of solar radiation and wind-driven rain observed in Brasília.

Key words: Mortar facade, Degradation, Performance, Pathology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DAS FACHADAS.....	4
2.2 DEGRADAÇÃO.....	6
2.3 PATOLOGIAS	8
2.3.1 Manchas	8
2.3.2 Fissuras.....	10
2.3.3 Descolamento	12
2.3.4 Patologias no sistema de pinturas.....	14
2.3.5 Pulverulência (Desagregação).....	16
2.3.6 Eflorescência	17
3. METODOLOGIA	18
3.1 DEFINIÇÃO DAS PATOLOGIAS ESTUDADAS	18
3.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO.....	19
3.2.1 Investigação documental	20
3.2.2 Investigação de campo	20
3.2.3 Divisão em amostras	20
3.2.4 Mapeamento das patologias	22
3.2.5 Quantificação das patologias.....	24
3.2.6 Cálculo do FD	26
4. RESULTADOS.....	27
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS E RESULTADOS INICIAIS	28
4.1.1 Edifício A1	29
4.1.2 Edifício A2	33
4.1.3 Edifício A3	37
4.2 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS POR ORIENTAÇÃO.....	40
4.3 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS POR REGIÃO	45
4.4 RESULTADOS GERAIS	47

5. CONCLUSÃO	51
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	56
ANEXO A TUTORIAL - CONSTRUÇÃO DE PANORAMAS ORTOGONALIZADOS	57
ANEXO B – AMOSTRAS DOS EDIFÍCIOS A1, A2 e A3.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Desempenho ao longo do tempo. Fonte: ABNT NBR 15575-1:2013.....	5
Figura 2.2 – Fissuração e descolamento em edifício em Brasília.	7
Figura 2.3 – Principais tipos de manchas em fachadas. (Alterações cromáticas, termofereze e origem biológica, fonte: Gaspar (2009).	9
Figura 2.4 – Fissuras próximo a aberturas (acima) e fissura no topo (abaixo).	12
Figura 2.5 – Descolamento localizado (a) e em placas (b). (Fonte de (b): LEM - UnB. Arquivo fotográfico).....	13
Figura 2.6 – Fissuração combinada com descolamento da película de pintura. (Fonte de (a): LEM - UnB. Arquivo fotográfico).	14
Figura 2.7 – Falhas na pintura do edifício A1 - bolhas no topo (esquerda) e bolhas com descolamento (direita).	15
Figura 2.8 – Pulverulência em fachadas em Brasília.	16
Figura 2.9 – Eflorescência em fachadas em Brasília.	17
Figura 3.1 - Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas. SILVA (2014)	21
Figura 3.2 – Representação de trecho da prumada leste do edifício A1 dividido em amostras. Cada cor representa uma amostra, e as áreas com “X” foram desconsideradas pois apresentam acabamento cerâmico.	22
Figura 3.3 – Comparação entre uma foto não-ortogonalizada (a) e panorama ortogonalizado (b).	23
Figura 3.4 -Passo a passo da composição de fotos e ortogonalização no Adobe Photoshop... ..	24
Figura 3.5 – Sobreposição de malha e divisão em amostras para o edifício A2.....	25
Figura 3.6 – Edifício hipotético com malha sobreposta e divisão das unidades em regiões (PINHEIRO, 2016).....	26
Figura 4.1 – Localização e orientação dos edifícios A1, A2 e A3.	28
Figura 4.2 – Fotos da prumada leste (a) e empena norte (b).	29
Figura 4.3 – Patologias presentes no edifício A1.....	30
Figura 4.4 – Patologias no edifício A1 por orientação.....	31

Figura 4.5 – Histograma do FDtotal – A1	32
Figura 4.6 – Fachada principal do edifício A2.....	34
Figura 4.7 – Patologias presentes no edifício A2.....	34
Figura 4.8 – Patologias no edifício A2 por orientação.....	35
Figura 4.9 – Histograma do FD para as patologias do edifício A2.....	36
Figura 4.10 – Lado norte da prumada oeste – edifício A3.....	37
Figura 4.11 – Patologias presentes no edifício A3.....	38
Figura 4.12 – Patologias no edifício A3 por orientação.....	38
Figura 4.13 – Histograma do FD para as patologias do edifício A2.....	39
Figura 4.14 – Síntese do TMY para Brasília a partir da plataforma WUFI (NASCIMENTO, 2016).....	40
Figura 4.15 – Histogramas do FD por orientação	41
Figura 4.16 – Histogramas para o FD da orientação oeste.....	42
Figura 4.17 – Histogramas para o FD da orientação leste.	42
Figura 4.18 – Gráfico da ANOVA para o FDtotal das orientações leste e oeste.....	44
Figura 4.19 – Gráfico do FD médio por região da fachada.....	45
Figura 4.20 – Ocorrência das patologias nas regiões de fachada.....	46
Figura 4.21 – Comparação entre os FD médios dos edifícios A1, A2 e A3 para cada patologia.	48
Figura 4.22 – Recorrência das patologias nas 190 amostras.....	49
Figura 4.23 – Histogramas para todas as patologias das 190 amostras.....	50
Figura B.1 – Edifício A1 – Prumada leste (parte 1).....	68
Figura B.2 – Edifício A1 – Prumada leste (parte 2).....	69
Figura B.3 – Edifício A1 – Prumada oeste (parte 1).....	69
Figura B.4 – Edifício A1 – Prumada oeste (parte 2).....	70
Figura B.5 – Edifício A1 – Empena norte.....	71
Figura B.6 – Edifício A1 – Empena sul	71
Figura B.7 – Edifício A2 – Prumada leste	72
Figura B.8 – Edifício A2 – Prumada oeste.....	73

Figura B.9 – Edifício A2 – Empena norte.....	74
Figura B.10 -Edifício A2 – Empena sul.....	74
Figura B. 11 – Edifício A3 – Prumada leste	75
Figura B. 12 – Edifício A3 – Prumada oeste.....	76
Figura B.13 – Edifício A3 – Empena norte.....	77
Figura B.14 – Edifício A3 – Empena sul	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Natureza dos agentes de degradação. (ISO 6241:1984)	6
Tabela 2-2 – Principais causas de fissuração. (SANTOS, 2017 – modificado).....	11
Tabela 4-1 – Principais valores estatísticos para o FDtotal – A1.....	32
Tabela 4-2 – Principais valores estatísticos para o FDtotal – A2.....	36
Tabela 4-3 – Principais valores estatísticos para o FDtotal – A3.....	39
Tabela 4-4 – Estatísticas para as orientações leste e oeste.	43
Tabela 4-5 – Resumo do FD médio para os edifícios A1, A2 e A3.....	47
Tabela 4-6 – Estatísticas para as 190 amostras	49

LISTA DE NOMECLATURAS E ABREVIACÕES

AB – Aberturas

ANOVA – Análise de Variância

CE – Cantos e Extremidades

D – Descolamento

E – Eflorescência

FGD – Fator Geral de Danos

FD – Fator de Danos

FI – Fissuração

ICE – *Image Composite Editor*

ISO – *International Organization for Standardization*

LEM – Laboratório de Ensaio de Materiais

M - Manchas

MMD – Método de Mensuração da Degradação

NBR – Norma Brasileira Registrada no INMETRO

P – Pulverulência (desagregação)

PECC – Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil

PC – Paredes Contínuas

PB – Bolhas na pintura

PD – Descolamento da pintura

PF – Fissura na pintura

SC – Sacadas

TO – Topo

TMY - *Typical Meteorological Year*

TP – Transição entre Pavimentos

UnB – Universidade de Brasília

VU – Vida Útil

VUP – Vida Útil de Projeto

1. INTRODUÇÃO

Ao se deparar com um edifício, a primeira impressão que se tem é com base na fachada. Ela pode expressar simplicidade ou luxo, bem como o cuidado com a edificação, isto é, se é realizada manutenção, além da própria qualidade como um todo (SOUSA *et al.*, 2016).

Assim, a fachada é um dos elementos de maior peso estético. Entretanto, é o mais afetado pela ação de agentes de degradação, que contribuem para a redução do desempenho de suas funções ao longo de sua vida útil. Este desempenho se reflete não só na estética, mas na satisfação de exigências construtivas essenciais de estabilidade mecânica, estanqueidade, conforto e economia (SOUSA *et al.*, 2016).

A fachada faz parte da envoltória do edifício e atua na separação e filtragem entre os meios exterior e interior, protegendo seus usuários e os elementos estruturais e de alvenaria da ação de agentes climáticos - sobretudo chuvas e incidência solar. Cumpre também a função de regulação e ajuste - que abrange os requisitos de conforto térmico, iluminação e ventilação. (ISO 6241, 1984; ABNT NBR 15575, 2013).

Segundo Sousa *et al.* (2016), além da localização do edifício, que implica em diferentes condições exteriores (ambiente direto, microclima e atividades vizinhas), interferem na degradação das fachadas os seus constituintes e soluções de design (por exemplo: varandas, grandes vãos e brises) e materiais (concreto, pedra, tijolos, madeira, metal e plástico).

A grande variedade de materiais, modelos de fachadas e do meio em que podem ser inseridas torna complexa a análise de sua degradação. Entretanto, o conhecimento resultante de estudos de caso a respeito do desempenho do edifício e seus sistemas e materiais é muito importante pois contribui para melhorar o design e a performance futura (PORTEOUS, 2013).

Nesse contexto, tendo em vista a importância do desempenho de fachadas para a qualidade de todo o sistema de edificação, torna-se oportuno o estudo da degradação nesses sistemas. Tem grande utilidade prática, revelando padrões e tendências de degradação que fornecem subsídios para a prevenção e reparo de patologias.

Dentro do tema, várias pesquisas foram feitas pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB) e aplicadas ao cenário de Brasília, algumas das quais consistem em referências para este trabalho:

- ANTUNES (2010) – Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachadas – Sistematização da Incidência de Casos.
- SILVA (2014) – Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF.
- SOUZA (2016) – Evolução da degradação de fachadas – Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.
- SANTOS (2017) – Catalogação de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.

Diferentemente dos trabalhos citados, a grande maioria com foco em revestimentos cerâmicos, este estudo analisa fachadas com acabamento em reboco e pintura. Outro diferencial da pesquisa é a introdução de fotografias para a realização do mapeamento e quantificação das patologias.

O cenário escolhido foi Brasília, já que a cidade possui grande quantidade de edifícios com mesma tipologia construtiva e fachadas com acabamento em reboco e pintura, cerâmico ou misto. A relativa homogeneidade das construções permite a identificação das patologias mais frequentes e análise de potenciais fatores que podem ter influência sobre a ocorrência das mesmas, tais como orientação cardinal, região da fachada (topo, sacadas, etc.), desvinculando os resultados das especificidades de cada edifício.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é realizar a análise sistemática da degradação de fachadas em argamassa de edifícios em Brasília para a formulação de hipóteses quanto aos fatores que afetam a degradação nesses sistemas, por meio da identificação das patologias e análise da distribuição do fator de danos (FD).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as patologias mais recorrentes e significativas no estudo de fachadas em argamassa, de forma a estabelecer um ponto de partida e orientar o método de análise sistemática da degradação.
- Quantificar as áreas afetadas por patologias nas amostras com base no fator de danos (FD), visando mensurar a degradação do edifício.
- Analisar a distribuição do FD nas amostras para verificar se a média é um valor representativo para comparação e a forma como as patologias se manifestam.
- Analisar a influência da orientação cardinal e da região da fachada nos padrões de degradação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DAS FACHADAS

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que trata sobre o desempenho dos sistemas de vedação, afirma que estes possuem diversas funções além de estética, por exemplo função estrutural, estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica e capacidade de suporte a esforços de uso.

O desempenho é definido pela ISO 6241 (1984) e NBR 15575 (ABNT, 2013) como o comportamento em uso da edificação e seus sistemas. Isso significa que devem atender às funções para o qual foram projetados, garantindo as exigências do usuário.

A estanqueidade é uma das principais exigências funcionais da fachada, devendo esta impedir a infiltração de água da chuva e outras fontes. Deve, também, atender aos limites máximos dispostos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013) de fissuração, empolamento, manchas e outras falhas no edifício, decorrentes de ciclos de exposição ao resfriamento e calor que ocorrem ao longo de sua vida útil.

Entretanto, a ação de agentes climáticos tais como chuva, vento e radiação solar, tendem a reduzir o desempenho das fachadas ao longo de sua vida útil. Essa redução é mais lenta nas idades iniciais do edifício, como pode ser observado na Figura 2.1. Os saltos pontuais são resultado de manutenções previstas pelo Manual de Uso, Operação e Manutenção, elevando a vida útil de projeto (VUP). (ABNT NBR 15575-1, 2013).

O período de tempo em que um sistema atende aos requisitos mínimos de desempenho para os quais foi projetado, atendidas as especificações quanto ao uso, operação e manutenção, é denominado vida útil (VU). Esta pode ser entendida como uma composição entre o valor teórico VUP, definido na fase de projeto, e a influência das ações da manutenção, utilização, natureza e vizinhança.

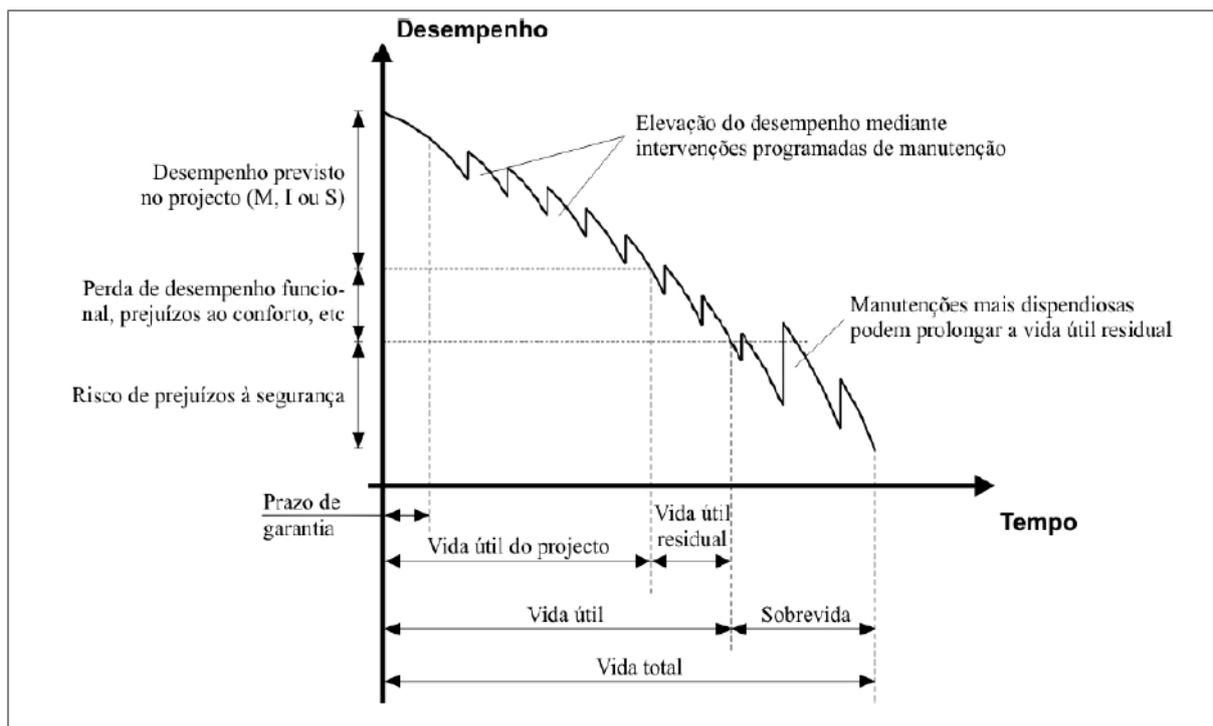


Figura 2.1 - Desempenho ao longo do tempo. Fonte: ABNT NBR 15575-1:2013

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece diferentes VUPs para os diversos sistemas do edifício com base no efeito das falhas de desempenho; da facilidade de manutenção e reparação em caso de falha; e do custo de manutenção e reposição. Recomendando o mínimo de 40 anos para os sistemas de vedação externa.

A estimativa da vida útil do edifício pode ser feita com base em inspeção, método de obtenção de dados de exposição a longo prazo recomendado pela ISO 15686-2 (2012), que tem a vantagem de fornecer a correlação direta entre o estado dos componentes, o ambiente de exposição e a utilização do edifício.

Este método, contudo, não afasta a dificuldade na obtenção de dados históricos dos componentes, e consequentemente, de distinguir entre erros de projeto e patologias devido à degradação, desenvolvidas ao longo da vida útil do edifício. Ademais, o meio ambiente é complexo e não pode ser controlado, não sendo, portanto, facilmente medido ou descrito. (ISO 15686-2, 2012).

2.2 DEGRADAÇÃO

A degradação é a perda de desempenho de um edifício e seus sistemas devido à atuação de agentes de degradação, fatores que afetam negativamente o desempenho dos componentes e materiais do edifício, incluindo aqueles ligados ao clima, biológicos, esforços mecânicos, incompatibilidades e fatores de uso. (ISO 6241, 1984; ABNT NBR 15575-1, 2013).

A Tabela 2-1 apresenta os agentes de degradação de acordo com sua natureza, ainda que esta possa ser diferente da natureza de suas ações. Um agente térmico, por exemplo, pode tanto ter uma ação física, como aquecimento, quanto uma ação química, como a catálise. (ISO 6241, 1984).

Tabela 2-1 – Natureza dos agentes de degradação. (ISO 6241:1984)

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade
	Ações e deformações impostas
	Energia cinética
	Vibrações e ruídos
Agentes Eletromagnéticos	Radiação
	Eletricidade
	Magnetismo
Agentes térmicos	Calor, gelo, choque térmico
Agentes químicos	Águas e solventes
	Oxidantes
	Redutores
	Ácidos
	Bases
	Sais
	Materiais inertes
Agentes biológicos	Vegetais e micro-organismos
	Animais

Quanto à origem dos agentes de degradação, estes dividem-se em externos ou internos à construção. Os externos podem ser atmosféricos ou relativos ao solo, enquanto os internos são consequência da ocupação ou do projeto. (ISO 6241,1984).

Sousa *et. al* (2016) ressalta que agentes de diferentes origens podem ter uma mesma natureza. Por exemplo, a água, que é um agente químico, pode ser de origem atmosférica (umidade do ar, condensação e precipitações), ou provir do solo (água de superfície ou subterrânea), ou da ocupação (condensação, lavagem), e até mesmo de consequências do projeto (distribuição de água, águas residuais e infiltrações).

A atuação dos agentes ocorre de forma simultânea e a degradação se apresenta em uma forma combinada de causas e efeitos. Por exemplo, em um edifício sujeito diariamente a incidência solar e ação do vento, o aparecimento de uma fissura pode facilitar a descolamento de parte da argamassa de revestimento, como ocorrido na Figura 2.2. A complexidade resultante da combinação de agentes de degradação e anomalias é uma das principais dificuldades no diagnóstico das causas da degradação em fachadas (GASPAR, 2009).



Figura 2.2 – Fissuração e descolamento em edifício em Brasília.

2.3 PATOLOGIAS

Os agentes de degradação e as patologias desenvolvidas mudam em função das características construtivas do edifício e de diversos outros fatores, com destaque para a localização. Assim, esta seção tratará apenas das anomalias mais relevantes ao estudo em questão: patologias desenvolvidas em fachadas com acabamento em reboco e pintura de edifícios em Brasília.

As patologias podem ser divididas em estéticas e funcionais. A primeira categoria engloba as que afetam a aparência do edifício, sem apresentar riscos à estabilidade e segurança do mesmo, tais como manchamentos. Já as funcionais afetam o desempenho de componentes e sistemas da edificação, podendo comprometer, ainda, sua segurança. (GOLDBERG, 1998).

O principal agente de degradação das argamassas depois de endurecida é a água, assim, revestimentos adequadamente protegidos contra a umidade tendem a ter uma maior durabilidade. (THOMAZ, 1996a *apud* SEGAT, 2005).

2.3.1 Manchas

Em primeiro momento, as manchas têm caráter superficial, afetando os níveis estéticos apenas, por meio de alteração de cor ou brilho. Contudo, sua permanência no revestimento, em conjunto com a presença de umidade, pode contribuir para o agravamento de anomalias, promovendo a degradação do material de revestimento e perda de suas propriedades. (SANTOS, 2017).

Há vários tipos de manifestações, dentre os principais, Gaspar (2009) cita sujidade, umidade, termofereze, origem biológica, corrosão, alterações cromáticas e ação humana, apresentados na Figura 2.3.

A mancha por corrosão é, segundo Santos (2017), decorrente do transporte pela água de produtos de corrosão de elementos metálicos (óxidos), provindos de armaduras expostas, esquadrias, peças metálicas de fixação e outros elementos metálicos presentes na fachada. Na Figura 2.3 (corrosão), observa-se que ocorreu a corrosão da grade metálica, e, com a chuva, parte desse produto escorreu juntamente com a água e se depositou sobre a fachada.

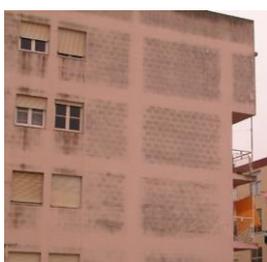
Corrosão	Alterações cromáticas	Termoferese	Origem biológica
			
Umidade	Sujidade	Ação humana	
			

Figura 2.3 – Principais tipos de manchas em fachadas. (Alterações cromáticas, termoferese e origem biológica, fonte: Gaspar (2009).

Alterações cromáticas, tais como a da Figura 2.3 (alterações cromáticas), ocorrem devido ao desbotamento da pintura em função da ação da chuva e radiação ultravioleta, e estão intimamente ligadas à qualidade e tipo de tinta, conforme relata Lambourne (1999).

As manchas classificadas por Gaspar (2009) como de ação humana são as decorrentes de vandalismo, mas também de escoamento de água, proveniente do sistema de drenagem e instalações de climatização. Um exemplo é mostrado na Figura 2.3 (ação humana), resultante do escoamento de objetos molhados dispostos sobre a janela.

Gaspar (2009) define a sujidade como a deposição de partículas nas fachadas presentes na atmosfera, tais como fuligem e poeira, ou mesmo decorrentes da própria fachada devido à ação da chuva; caracterizado por manchas escurecidas como pode ser observado na Figura 2.3 (sujidade).

Segundo o mesmo autor, a umidade pode ter origens diversas, por exemplo, pode ser decorrente da obra, do terreno, de condensações, de precipitação, de fenômenos de higroscopicidade. A

permanência de umidade é, inclusive, a principal causa do aparecimento de colonização biológica nas fachadas, tais como a apresentada na Figura 2.3 (origem biológica), onde há presença de vegetação e na Figura 2.3, onde há mofo. Segat (2005) destaca que a temperatura também é um fator condicionante para presença de mofo e bolor, caracterizada por manchas escuras em tonalidade preta, marrom e verde.

A termofereze é conhecida como “espectro fantasma” devido à forma como se manifesta, com desenho de juntas verticais e horizontais no revestimento, exibida na Figura 2.3 (Termoferese). Segat (2005) explica que sua aparência se deve a depósitos diferenciais de poeira na superfície. Isto ocorre devido a comportamentos distintos na argamassa com a secagem, em função do coeficiente de absorção desigual entre as juntas de assentamento e os componentes de alvenaria. Segundo Gaspar (2009), as principais causas desse fenômeno, são a presença de umidade no revestimento, sobretudo em situações de ausência ou insuficiência de isolamento térmico, e espessura muito pequena do reboco.

2.3.2 Fissuras

As fissuras são aberturas resultantes do alívio de tensões entre partes de um elemento ou entre dois elementos que estão em contato. Conforme Santos (2017), essas tensões podem ser resultantes de diversas causas, listadas na Tabela 2-2: de natureza estrutural, como a variação das condições de apoio; de ações naturais, especialmente devido à movimentações térmicas e umidade; e decorrentes do processo de execução ou projeto, por exemplo à ausência de vergas e contravergas e de juntas de dilatação.

Em especial em argamassas de revestimento, Bauer (1997) associa a fissuração, quando não estrutural, ao processo de execução, solicitações higrotérmicas e retração hidráulica da argamassa.

Tabela 2-2 – Principais causas de fissuração. (SANTOS, 2017 – modificado)

Natureza	Causa
Estruturais	Deformação
	Variação das condições de apoio
De ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, movimentos térmicos/umidade)
	Química (oxidação, carbonatação, chuva ácida, sais, poluição, etc.)
	Biológica
Quanto ao processo (execução ou projeto)	Ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas
	Desrespeito entre os tempos de espera entre as camadas do sistema de revestimento
	Dosagem ou preparo inadequado da argamassa
	Não detalhamento construtivo
	Concepção/posicionamento/preenchimento deficiente de juntas
	Espessura da camada de revestimento
	Retração
	Excesso de desempenho da argamassa
	Deficiência nas ligações entre os subsistemas e materiais da fachada
Absorção excessiva do suporte	

As fissuras podem se manifestar isoladas ou de forma repetitiva, assumindo diferentes formas, por exemplo, em malha, linear, composta e reticulada (GASPAR, 2009).

Santos (2017) afirma que um caso típico de fissura linear é o que ocorre no topo de edifícios, onde há grande exposição à radiação solar, em função de movimentações térmicas provocadas pela dilatação da laje de cobertura. Conforme Gaspar (2009), em geral essas fissuras apresentam configuração linear contínua, interrompida ou formando linhas com 30° a 45° com a horizontal, paralelas entre si, como pode ser observado na Figura 2.4 (c).

Outro caso muito comum é a fissuração a partir dos vértices inferiores de janelas, mostrado na Figura 2.4 (a) e Figura 2.4 (b). Santos (2017) explica que a causa principal é a inexistência ou subdimensionamento de vergas e contravergas, de modo que o edifício não consegue absorver as movimentações atuantes durante sua vida útil. Os cantos de aberturas são pontos vulneráveis à fissuração, pois é onde ocorre maior concentração de tensões.

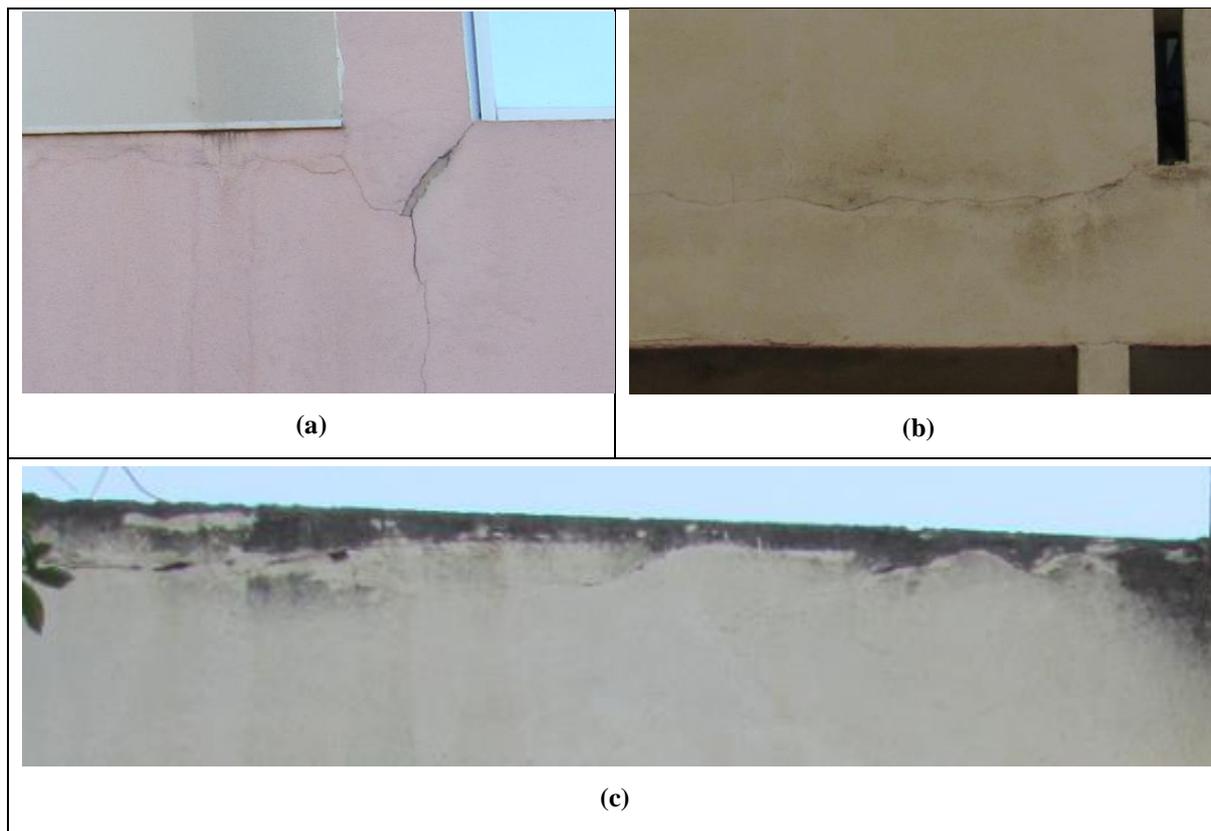


Figura 2.4 – Fissuras próximo a aberturas (acima) e fissura no topo (abaixo).

2.3.3 Descolamento

A separação da argamassa em relação ao seu suporte (Figura 2.5) geralmente ocorre devido ao efeito da gravidade e às deformações do material, de modo que algumas regiões não conseguem atender aos esforços de flexão e torção que atuam sobre a camada rígida do revestimento GASPAR (2009).

O empolamento pode anteceder ao descolamento em si, caracterizado pela deformação de regiões da superfície com formação de convexidades para o exterior. Cincotto (1988) aponta como principal causa dessa ocorrência a presença de cal parcialmente hidratada na argamassa com óxido de magnésio. Quando ocorre a hidratação da cal, a argamassa expande e o revestimento empola gradativamente, descolando do emboço de forma localizada.

O descolamento pode ocorrer de forma localizada, como na Figura 2.5 (esquerda) ou também em placas, como na Figura 2.5 (direita). Bauer (1997) e Cincotto (1988) apresentam como as principais causas do descolamento:

- Preparação inadequada da base de concreto;
- Ausência de chapisco;
- Chapisco preparado com areia fina;
- Argamassa com espessura excessiva;
- Argamassa rica em cimento;
- Acabamento superficial inadequado de camada intermediária.

Segundo esses autores, o excesso de cimento resulta em um material com pouca elasticidade e incapaz de resistir às movimentações da estrutura. Por outro lado, a falta de aglomerante pode prejudicar a aderência da argamassa ao substrato. Esta pode ser prejudicada também por falta de preparação e limpeza da base, por meio da ausência de chapisco e presença de óleos, agente desmoldante, pó e resíduos na superfície. E, por último, o peso próprio de camadas muito espessas pode gerar força gravitacional maior que a adesão inicial com o substrato, provocando queda do revestimento.

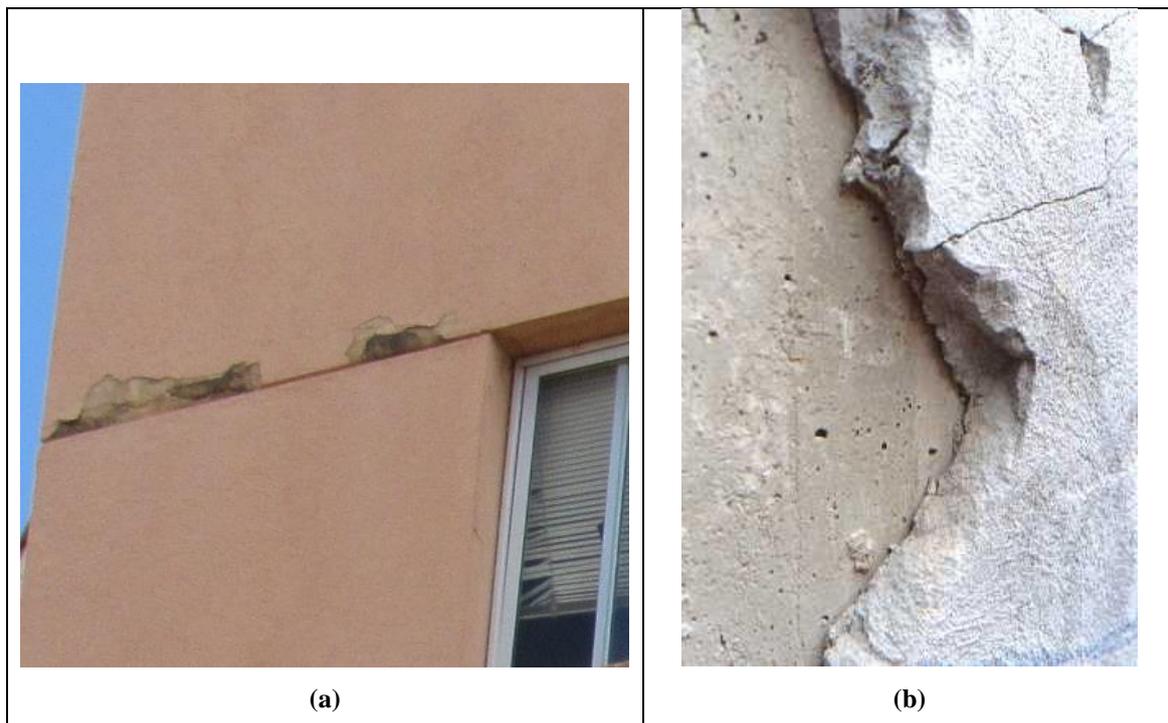


Figura 2.5 – Descolamento localizado (a) e em placas (b). (Fonte de (b): LEM - UnB. Arquivo fotográfico).

2.3.4 Patologias no sistema de pinturas

Lambourne (1999) afirma que as propriedades mecânicas das películas de pintura são muito importantes para a manutenção da função protetora do revestimento. Elas estão sujeitas a diversas forças mecânicas de deformação, tais como impacto de pedras e partículas; e a ciclos de contração e expansão, em resposta a mudanças na umidade atmosférica e temperatura, que levam a deformações irreversíveis e até mesmo fissurações na película de tinta, como observado na Figura 2.6.

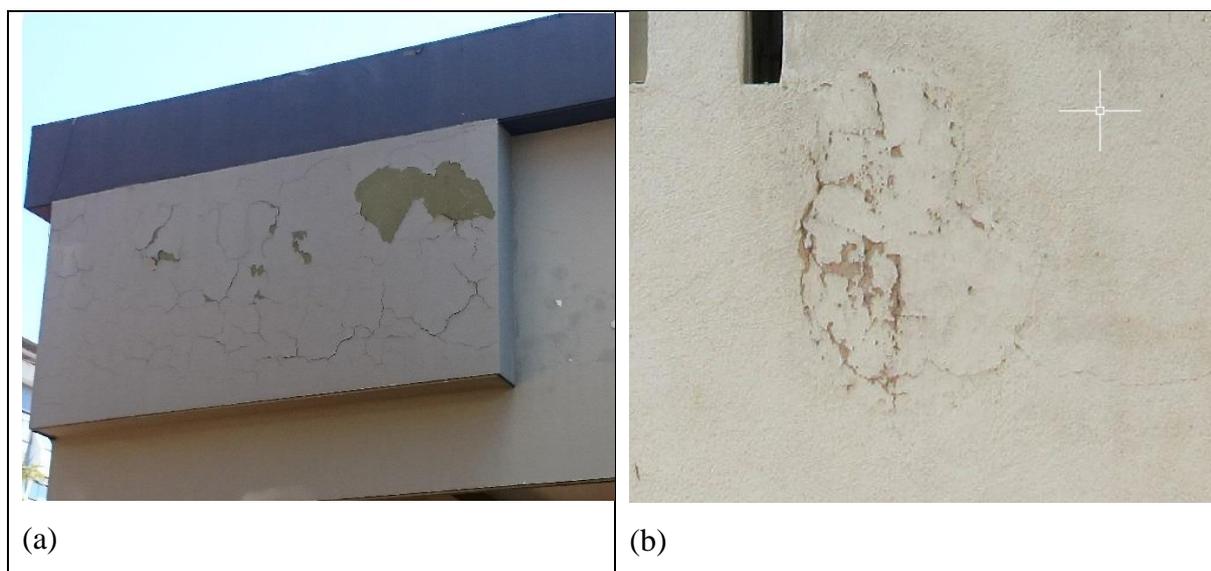


Figura 2.6 – Fissuração combinada com descolamento da película de pintura. (Fonte de (a): LEM - UnB. Arquivo fotográfico).

Garrido (2010) explica que o ligante da tinta está intimamente relacionado à susceptibilidade desta à fissuração. Pinturas com tinta a óleo superfície lisa (sem textura) apresentam fissuração típica generalizada do tipo “craquelê” ou “pele de crocodilo”. Isso ocorre porque os óleos sicativos são um ligante autoxidável e, ao longo de seu endurecimento, com a ocorrência de oxidação e “*cross-linking*” (formação de ligações químicas unindo cadeias de polímeros), a película fica mais quebradiça e sujeita a retração.

Além do ligante, componente responsável pela formação da película seca, há outros fatores que influenciam o desempenho dos sistemas de pintura como a aderência ao suporte e a preparação da superfície (substrato) para aplicação da pintura (GARRIDO, 2010).

Labourne (1999) afirma também que a exposição contínua à condensação de ar e água pode levar a lixiviação de componentes de baixo peso molecular, tais como solventes retidos e plastificantes. E a exposição a oxigênio no ar e à radiação ultravioleta pode levar a várias reações fotolíticas, que podem gerar radicais livres e peróxidos, fragilizando a película.

Além disso, a entrada de água na película combinada com a presença de oxigênio e ânions pode levar a formação de bolhas. De fato, na Figura 2.7 (a), pode-se observar a formação de bolhas em uma região com presença de água, e, na Figura 2.7 (b), a formação de bolhas em situação semelhante levou ao descolamento.



Figura 2.7 – Falhas na pintura do edifício A1 - bolhas no topo (esquerda) e bolhas com descolamento (direita).

O descolamento se manifesta pelo desprendimento local da película de tinta, como pode ser observado na Figura 2.7 (b) e ocorre geralmente por perda de aderência entre a película e o substrato (UEMOTO, 1988). Este distingue-se do descolamento referido no capítulo anterior, que se refere a destacamentos de parte do substrato, ainda que estes possam vir acompanhados da remoção de parte da película.

Santos (2017) aponta a presença de umidade em fachadas em argamassa, dada a porosidade desta, como uma das principais causas que conduzem ao descolamento da pintura. Segundo Cincotto (1983) *apud* Antunes (2010), esse descolamento pode ocorrer de diferentes formas: por meio da perda de aderência da película, pulverulências ou descolamentos com posterior perda de aderência e escamação da película.

2.3.5 Pulverulência (Desagregação)

A pulverulência geralmente se manifesta, como apontado por Gaspar (2009), pela desagregação de vários componentes da argamassa, de forma esfarelada, conduzindo ao desprendimento de materiais sob a forma de pó; ou pela perda ou lavagem de partículas finas da argamassa e facilidade de desprendimento com pequenos esforços, por exemplo, ao ser pressionada manualmente.

A ocorrência desta patologia é condicionada por fatores tais como alta concentração de materiais pulverulentos e torrões de argila no agregado (que se expandem em contato com umidade, provocando queda do revestimento), traço pobre em aglomerantes ou excessivamente rico em cal, e a ausência da completa da carbonatação da cal, decorrente da execução de camada muito espessa de reboco ou aplicação prematura de pinturas (BAUER, 1997).



Figura 2.8 – Pulverulência em fachadas em Brasília.

A desagregação pode se manifestar, também, associada a outras patologias. Por exemplo, posteriormente ao descolamento, como consequência da exposição das camadas mais internas do revestimento, geralmente menos rígidas, aos agentes atmosféricos. Ou em decorrência de microfissuras na camada de reboco, originárias de aumento diferencial de volume das camadas mais superficiais em relação às mais internas, em função da infiltração de umidade nos poros da argamassa e dissolução de componentes desta.

2.3.6 Eflorescência

As eflorescências são depósitos salinos na superfície de revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes de alvenaria. Manifestam-se tipicamente pela presença de manchas de umidade e pelo acúmulo de pó branco sobre a superfície (BAUER, 1997; CINCOTTO,1988).

Bauer (2007) relata que as eflorescências geralmente ocorrem em fachadas quando estas ficam umedecidas por muito tempo, e componentes presentes na argamassa ou tijolos (tais como sais, hidróxidos e carbonatos solúveis) dissolvem-se e depositam-se nos poros dos materiais, que ficam saturados e são então levados à superfície por difusão e evaporação, formando depósitos salinos na superfície.

As eflorescências geralmente alteram a superfície causando danos estéticos apenas, entretanto, em determinados casos, seus sais podem ser agressivos, promovendo desagregação, principalmente quando há compostos expansivos. Além disso, a manifestação dessa patologia é efeito da umidade, que consiste em um problema mais grave e frequente em edificações (SEGAT, 2005).



Figura 2.9 – Eflorescência em fachadas em Brasília.

A eflorescência depende da ocorrência simultânea de três fatores: teor de sais solúveis, presença de água e pressão hidrostática, para propiciar a migração da solução para a superfície

(ANTUNES, 2010, UEMOTO, 1988). Gaspar (2009) explica que a água presente no interior dos elementos de construção pode migrar para o exterior transportando sais dissolvidos nestes. Conforme a água se aproxima do exterior, ela evapora e os sais se cristalizam.

Quando a cristalização dos sais ocorre no interior do material, é denominada criptoflorescência, sendo esta mais prejudicial à durabilidade do revestimento, pois as tensões devido à expansão dos sais podem ocasionar descolamento de parte da camada que os envolve.

3. METODOLOGIA

O passo inicial da pesquisa foi a seleção das principais patologias em fachadas com acabamento em reboco e pintura decorrentes do processo de degradação. Realizando, em seguida, análise de sua ocorrência e distribuição em três edifícios em Brasília.

3.1 DEFINIÇÃO DAS PATOLOGIAS ESTUDADAS

Como explicado no capítulo 2, o processo de degradação é influenciado por diversos fatores devido às condições externas de exposição do edifício (clima, vizinhança etc.), bem como em razão das próprias soluções construtivas, tais como elementos, materiais e métodos utilizados. Assim, a etapa inicial deste estudo consiste na identificação das patologias relevantes no contexto estudado, as quais serão investigadas na etapa de inspeção.

Este trabalho tem como cenário a cidade de Brasília, onde há grande quantidade de edifícios com a mesma tipologia construtiva, ambiente apropriado para o estudo dos agentes de degradação e de recorrência de anomalias. Foram selecionados edifícios com avançado estágio de degradação e com fachadas predominantemente com acabamento final em reboco e pintura.

A degradação em fachadas se manifesta de diversas formas. Foram definidos oito grupos de patologias, nos quais se embasará o método de estudo da degradação de fachadas desenvolvido no presente trabalho (capítulo 2.3). Os grupos selecionados são apresentados a seguir, juntamente com as siglas utilizadas:

- Manchas (M);
- Fissuras (FI);
- Fissura na pintura (PF);
- Descolamento da pintura (PD);
- Bolhas na pintura (PB);
- Descolamento (D);
- Pulverulência/desagregação (P);
- Eflorescência (E).

Apesar das diversas formas de manifestação das manchas em fachadas e causas associadas a elas (capítulo 2.3.1), optou-se por caracterizar como manchas, principalmente aquelas escurecidas em função da presença de umidade. Em função da elevada degradação do sistema de pintura e falta de manutenção na mesma, além da dificuldade de detecção de alterações cromáticas por meio de fotografia ou percepção visual, optou-se por não considerar tais anomalias no estudo.

As fissuras detectadas são as visíveis no período do dia em que foi realizada a inspeção. Destaca-se que as vistorias foram realizadas de manhã e à tarde, na presença de luz solar e elevadas temperaturas.

3.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO

Este capítulo aborda a metodologia de pesquisa, desde a obtenção de dados ao cálculo do FD, aplicada no estudo da degradação da fachada em argamassa de três edifícios em Brasília. O método é baseado na inspeção de edifícios e utilização de fotografias para a construção de panoramas ortogonalizados para mapeamento e quantificação das áreas degradadas, e pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Investigação documental;
- Investigação de campo;
- Divisão em amostras;
- Mapeamento das patologias;
- Quantificação das patologias;

- Cálculo do FD.

3.2.1 Investigação documental

Antes da inspeção em campo deve-se recolher as informações relevantes sobre o edifício, como o ano de ocupação, e materiais auxiliares como a planta do projeto executivo. Na inexistência deste, propõe-se a realização de medidas no local para a elaboração de croqui do prédio como instrumento auxiliar para a inspeção de campo, o qual será utilizado também na quantificação das áreas degradadas.

Além disso, é importante a coleta de informações a respeito do histórico do edifício. Assim, recomenda-se conversar com porteiros, moradores, e utilizar de livros de registros de modo a verificar as datas de realização de manutenções (caso tenham sido feitas), eventos relacionados com o aparecimento de patologias, reclamações.

3.2.2 Investigação de campo

A investigação de campo inclui vistoria e inspeção, esta sob olhar mais técnico, e registro fotográfico. Além da percepção visual acerca dos problemas, pode-se utilizar diversas ferramentas e técnicas para uma análise mais aprofundada.

No caso das fachadas, torna-se relevante a utilização de técnicas não destrutivas, que possam ser realizadas à grandes distâncias de modo eficiente. Dentre os possíveis métodos, pode-se citar a termografia infravermelha, que, com base na diferença de temperatura entre as regiões da fachada, permite a delimitação de fissuras e regiões de umidade, e identificação de heterogeneidades superficiais. (BAUER e PAVÓN, 2015)

3.2.3 Divisão em amostras

Foram escolhidos edifícios residenciais com fachadas predominantemente em argamassa, de modo a obter amostras significantes para o estudo.

Inicialmente, deve-se dividir o edifício em prumadas (lados mais extensos do edifício, que abrangem a fachada principal) e empenas (laterais do edifício), e identificar a orientação correspondente. Esta foi realizada com base no azimute em quatro faixas de orientação (Figura 3.1), conforme sugestão de Silva (2014):

- Faixa de orientação Norte compreendida entre os azimutes 315° e 44°. (em azul).
- Faixa de orientação Leste compreendida entre os azimutes 45° e 134° (em amarelo);
- Faixa de orientação Sul compreendida entre os azimutes 135° e 224° (em verde);
- Faixa de orientação Oeste compreendida entre os azimutes 225° e 314° (em laranja);

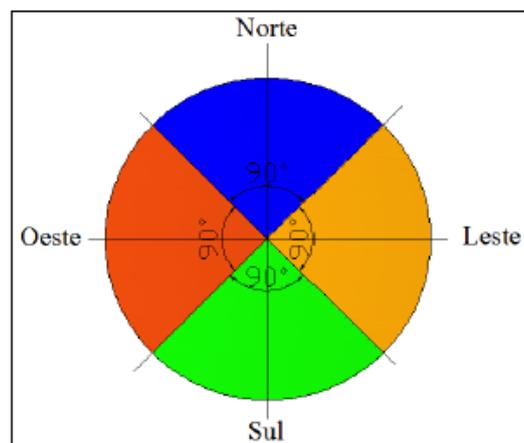


Figura 3.1 - Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas. SILVA (2014)

Cada edifício foi dividido em amostras, cada uma com uma área representativa para o estudo quanto ao tamanho e homogeneidade. Os limites devem ser fixados em áreas que apresentam discontinuidades, tais como juntas de dilatação ou mudança de orientação.

Além disso, secciona-se o edifício preferencialmente em trechos de acordo com o plano em que se encontram, de forma que as áreas mais externas se encontrem em amostras distintas das mais internas, que, usualmente menores, podem contemplar também as reentrâncias (paredes laterais que conectam os trechos em diferentes planos). Destaca-se que devem ser desconsiderados trechos com revestimento cerâmico ou outros materiais que não em argamassa (Figura 3.2).

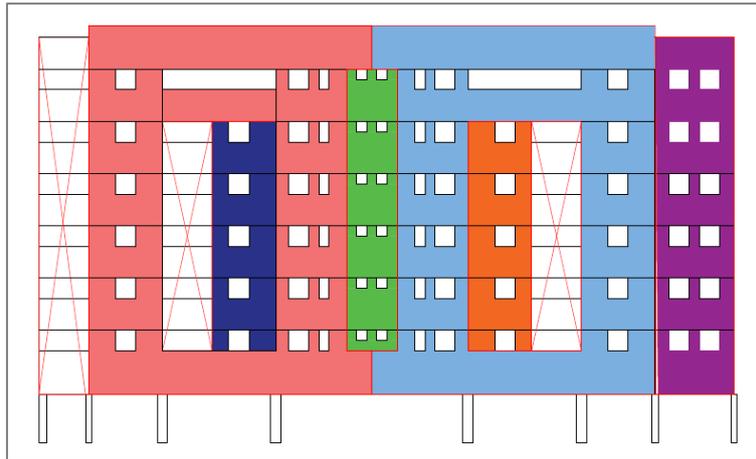


Figura 3.2 – Representação de trecho da prumada leste do edifício A1 dividido em amostras. Cada cor representa uma amostra, e as áreas com “X” foram desconsideradas pois apresentam acabamento cerâmico.

O nome de identificação da amostra é composto por três partes separadas por pontos. A primeira refere-se ao número de identificação do edifício, contado sequencialmente de acordo com a data de inspeção. A segunda informa se a amostra é uma prumada ou uma empena e revela sua orientação. E a terceira fornece o número sequencial da amostra, cuja contagem é reiniciada a cada prumada ou empena, e se dá a partir da esquerda para a direita. Por exemplo, a amostra A1.PO.1 pertence ao edifício A1, mais especificamente à prumada oeste, e consiste na primeira amostra desde a esquerda.

3.2.4 Mapeamento das patologias

O mapeamento consiste na identificação e contagem das áreas afetadas por anomalias com base nas fotografias e croquis das amostras. Portanto, as fotos devem ter resolução suficiente para permitir visualização e detalhamento adequado das patologias.

Dentro da pesquisa em questão, a investigação de campo abrangeu a inspeção visual *in loco* do edifício e realização de registro fotográfico das fachadas. A foto inicial deve abranger, se possível, toda a fachada para uma orientação, e, em seguida, ser realizada de forma organizada e seguindo um padrão, contemplando regiões menores, com resolução e tamanho suficiente para a detecção posterior das patologias. Por exemplo, nos edifícios estudados, as fotos contemplaram verticalmente dois andares e, horizontalmente, duas linhas de janelas. É importante que haja rigor na obtenção das fotografias, e que se procure alinhar o edifício com as margens da lente da câmera, de modo a reduzir distorções.

As imagens devem ser ortogonalizada para a obtenção de melhores resultados em termos de dimensões e forma das patologias e depois sobrepostas ao croqui para montar um conjunto (panorama). Como exemplo, um panorama ortogonalizado para o edifício A2 é exibido na Figura 3.3.



Figura 3.3 – Comparação entre uma foto não-ortogonalizada (a) e panorama ortogonalizado (b).

A ortogonalização e composição das fotos pode ser efetuada por meio de diversos softwares, pode-se citar o ICE (*Image Composite Editor*), Hugin e Adobe Photoshop. Este último foi o utilizado neste trabalho, pois apresenta diferentes ferramentas que permitem tal procedimento

e não necessita de tanto rigor na qualidade das fotografias. Além disso, por meio do passo a passo, descrito no Anexo A, consegue-se atingir o resultado desejado de maneira fácil e rápida.

Primeiramente foi efetuada a ortogonalização das fotos parciais por meio da função “*Perspective Cut*” e, em seguida, a sobreposição das fotografias no croqui do edifício, a fim de obter as dimensões reais deste, com ajuda de guias auxiliares (Figura 3.4). Os panoramas ortogonalizados das amostras estudadas nesta pesquisa estão apresentados no Anexo B.

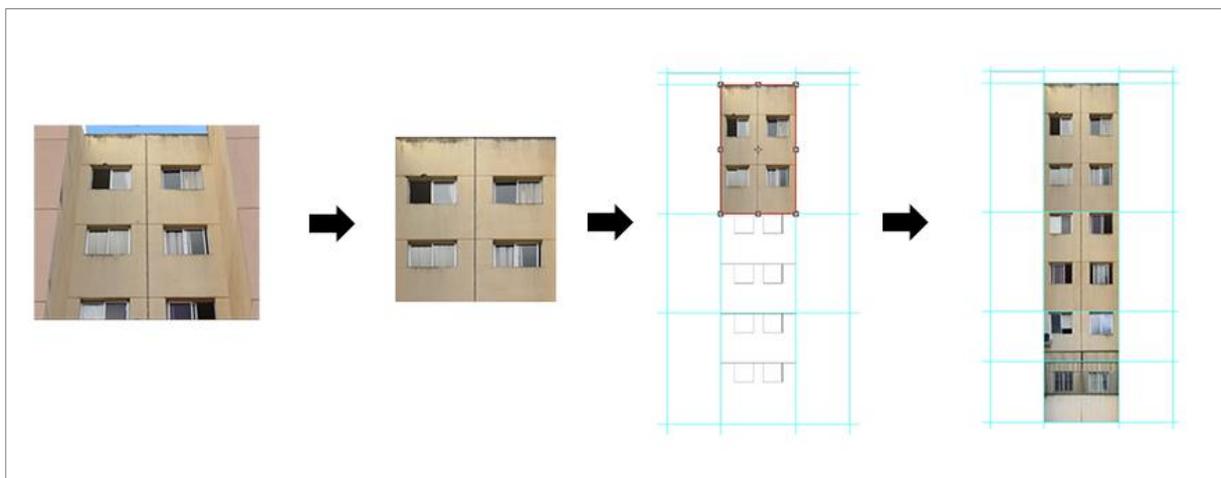


Figura 3.4 -Passo a passo da composição de fotos e ortogonalização no Adobe Photoshop.

3.2.5 Quantificação das patologias

A quantificação consiste na identificação e contagem das áreas afetadas por patologias com base nas fotos e croqui das amostras.

Para a contabilização das áreas degradadas, deve-se primeiro definir as áreas de influência de cada anomalia. Isso é feito de modo a facilitar a contagem das áreas degradadas e compatibilizar as patologias que se apresentam de forma linear, tais como fissuras. Usa-se, então, o método de gradeamento recomendado pelo MMD, que se baseia na sobreposição de uma malha com unidades de 0,50m x 0,50m sobre as amostras, como observado na Figura 3.5. Define-se como ponto inicial para a inserção da grade o ponto inferior esquerdo da amostra.

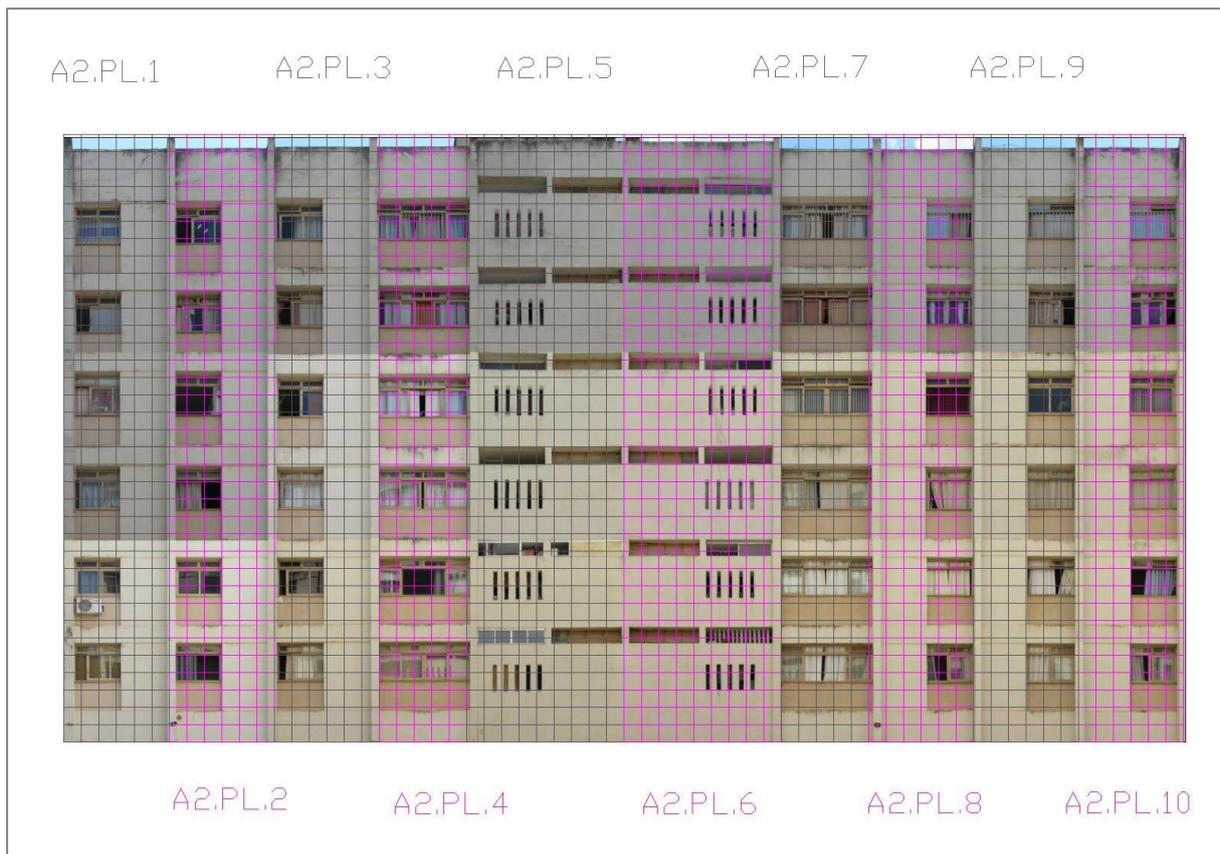


Figura 3.5 – Sobreposição de malha e divisão em amostras para o edifício A2.

Após colocada a malha, deve-se realizar subdivisão de cada amostra segundo a região da fachada em que se manifestam, conforme a Figura 3.6:

- Sacadas (SC) – áreas de paredes de guarda corpo que sobressaem do plano de fachada;
- Topo (TO) – áreas de platibanda;
- Aberturas (AB) – áreas em torno das janelas;
- Transição entre Pavimentos (TP) – áreas entre os andares, a cada pé direito;
- Cantos e Extremidades (CE) – áreas de contorno do plano de fachada;
- Paredes Contínuas (PC) – áreas contínuas.

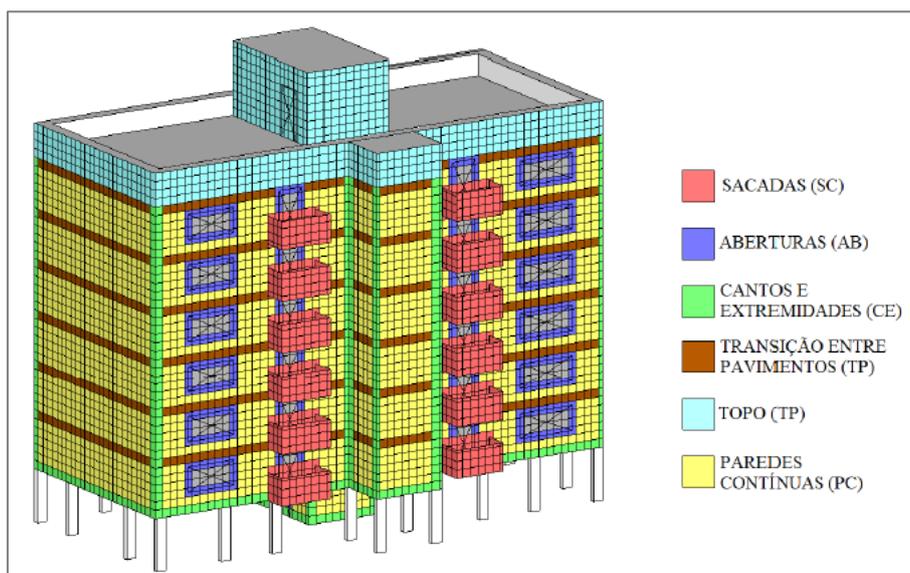


Figura 3.6 – Edifício hipotético com malha sobreposta e divisão das unidades em regiões (PINHEIRO, 2016).

Em alguns casos, uma única unidade de malha abrange mais de uma região. No caso de uma janela de canto, por exemplo, uma unidade pode apresentar parte de janela e parte de canto, podendo ser classificada tanto em AB quanto em CE. De modo a evitar esse conflito e padronizar a seleção, segue-se recomendação de Souza (2016), seguindo uma sequência na definição das regiões. Primeiro delimitam-se as unidades pertencentes à região de aberturas (AB), seguido por sacadas (SC), cantos e extremidades (CE), transição entre pavimentos (TP), paredes contínuas (PC) e, por último, topo (TO).

Realizado gradeamento e delimitação das regiões de fachada, procede-se para a quantificação das áreas degradadas. Contabilizam-se as unidades de malha afetadas por cada patologia, número que multiplicado pela área de cada unidade de malha ($0,25 \text{ m}^2$) fornece as áreas degradadas.

3.2.6 Cálculo do FD

Assim como realizado por Silva (2014) e Souza (2016), as análises tem base no índice denominado Fator de Danos (FD), que revela a proporção da área degradada em função do tamanho da amostra.

O FD é um índice calculado em termos de áreas, relevante numa análise da extensão dos danos da fachada (Equação 3.1).

$$FD = \frac{\sum Ad(n)}{At} \quad (\text{Equação 3.1})$$

FD: Fator de Dano total da fachada;

Ad: Área danificada de determinada anomalia (n), calculada na fase de mapeamento;

At: Área total da amostra.

Ele pode ser calculado tanto em termos da área danificada de uma determinada patologia, quanto em termos da área total danificada, englobando todos os tipos de danos. Destaca-se que a área anômala total pode ser, teoricamente, maior que a área da amostra da fachada, tendo em vista que em uma mesma unidade podem existir mais de um tipo de patologia e cada uma é contabilizada separadamente.

Calculado o FD, há vários tipos de análises que podem ser realizadas:

- Ocorrência relativa entre as patologias;
- Influência da orientação cardinal;
- Influência da altura (andar);
- Influência na região da fachada em que ocorre.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados das análises da ocorrência e distribuição do FD, realizada com base em gráficos de setores e histogramas, e está dividido em:

- Identificação dos edifícios e resultados iniciais - onde é realizada abordagem individual de cada edifício, em termos das patologias mais frequentes, distribuição dos FD parciais e total.

- Análise da patologia por região – a partir dos dados de todos os edifícios são formuladas hipóteses quanto à influência das orientações na ocorrência das patologias, em especial, comparando leste e oeste.
- Análise das patologias por região – também a partir de todo o conjunto de dados, é mostrada a relação entre a ocorrência das patologias e as regiões analisadas.
- Resultados gerais – é realizada a comparação entre os resultados dos três edifícios e apresentado panorama geral da ocorrência e distribuição das patologias nas fachadas.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS E RESULTADOS INICIAIS

Os três edifícios estudados localizam-se em Brasília, no bairro Asa Norte. A planta aérea obtida do *Google Earth* (Figura 4.1) mostra a localização relativa entre eles. Como pode ser observado, todos os edifícios possuem as empenas voltadas para norte e sul e prumadas para leste e oeste. Os edifícios A1 e A2 possuem fachada principal com orientação para o leste e o A3, para o oeste.



Figura 4.1 – Localização e orientação dos edifícios A1, A2 e A3.

4.1.1 Edifício A1

O primeiro edifício inspecionado foi identificado como A1, a fachada é revestida predominantemente com acabamento em reboco e pintura, contendo também varandas em revestimento cerâmico, como pode ser observado na Figura 4.2. A prumada principal, que dá acesso ao estacionamento aberto, possui orientação leste e situa-se paralelamente à avenida “eixo W”, como pode ser observado na Figura 4.1. O edifício é simétrico nos dois eixos (as duas prumadas e as duas empenas são iguais entre si) e extenso em comparação com os outros edifícios da quadra, sendo composto por três módulos semelhantes ao apresentado na Figura 4.2, e com varandas nas duas extremidades.

Edifício A1

Tipo de edificação: Residencial;

Número de pavimentos: 6 pavimentos tipo;

Acabamento de fachada: reboco e pintura (predominante) e cerâmico nas varandas;

Número de amostras: 58 (2 em empenas e 56 em prumadas).



(a)

(b)

Figura 4.2 – Fotos da prumada leste (a) e empena norte (b).

A partir da quantificação das patologias, construiu-se o gráfico de setores com base no FD (Figura 4.3). Todos os tipos de anomalias investigados nesta pesquisa foram encontrados no edifício. Fissuras e manchas foram os problemas mais frequentes, contribuindo juntos com 82%

das patologias encontradas. Falhas na pintura também apresentaram ocorrência significativa (13%), com predominância de descolamento da película.

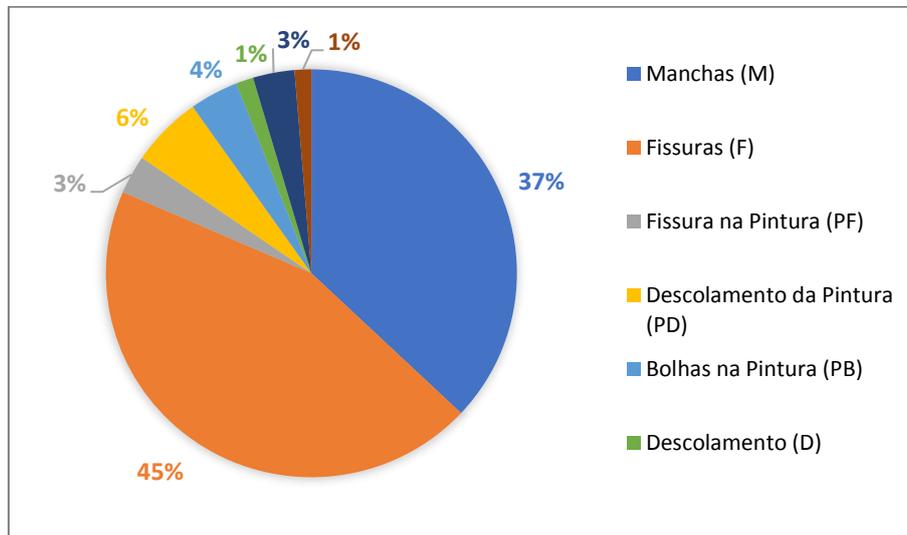


Figura 4.3 – Patologias presentes no edifício A1.

A Figura 4.4 mostra a ocorrência de patologias de acordo com a orientação cardinal. As orientações norte e sul referem-se a empenas, não havendo grande distinção entre os resultados obtidos. Em ambos os casos, cerca de 90% das anomalias encontradas foram manchas, enquanto que apenas 9% se referem a descolamento.

Diferentemente das empenas, as prumadas apresentaram maior frequência de fissuras que de manchas. Na orientação leste, 52% das patologias foram fissuras, 42% manchas e 5% problemas nas pinturas. Na oeste, fissuras (38%) e manchas (28%) também foram as patologias dominantes, contudo, houve maior ocorrência de outros tipos, representando cerca de um terço do total, com destaque para descolamento da pintura (11%).

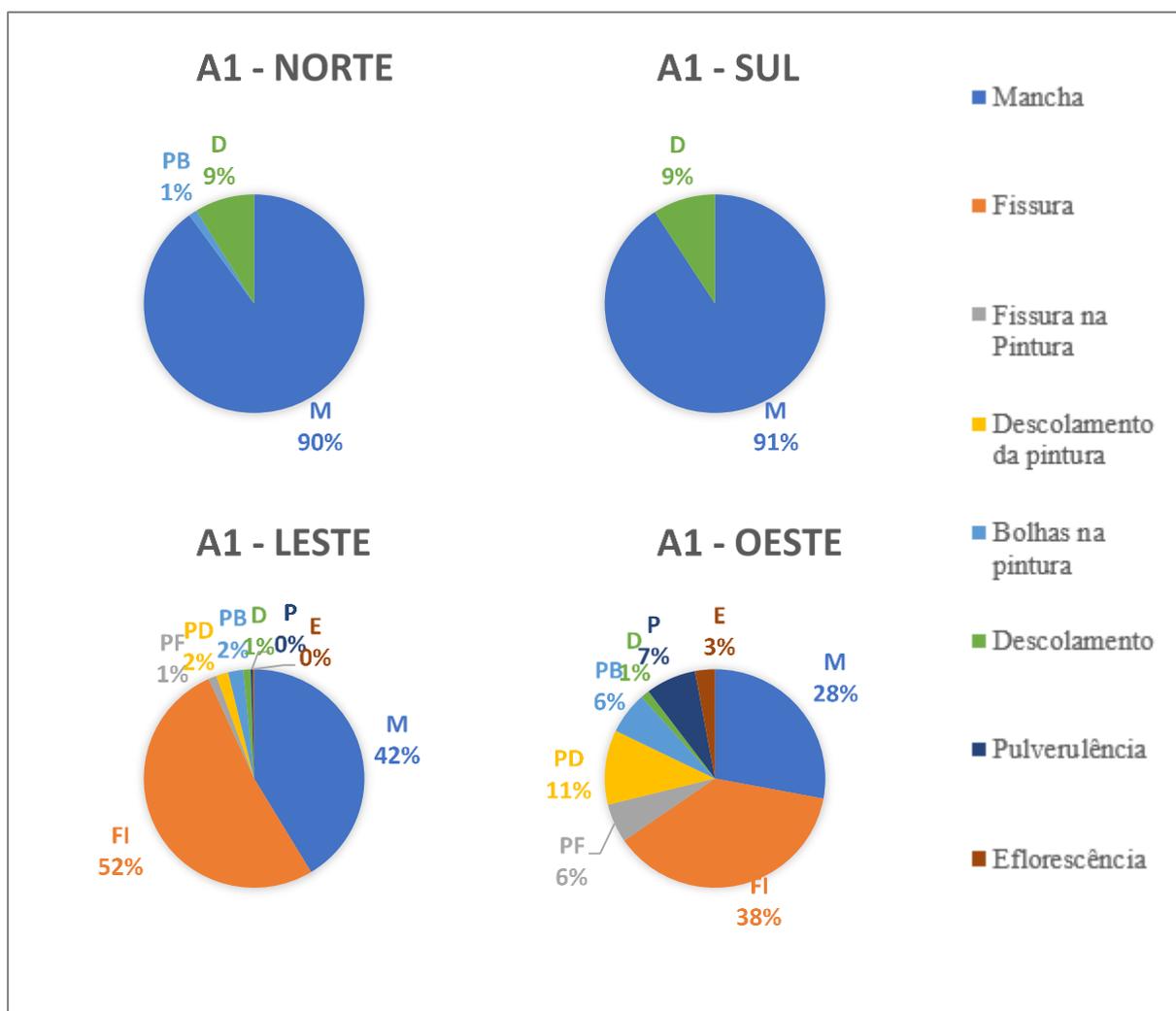


Figura 4.4 – Patologias no edifício A1 por orientação

Os gráficos apresentados na Figura 4.4 não revelam a diferença no total de degradação entre as orientações, discussão que será abordada no capítulo 4.2.

A distribuição do FD das patologias do edifício A1 é exibida nos histogramas da Figura 4.5, bem como a distribuição do FD total (abrangendo todas as patologias). Os histogramas devem ser analisados observando a frequência de ocorrência de um FD não nulo nas amostras (eixo y), e os valores de FD calculados (eixo x). Além disso, o valor representado no eixo x, apresenta o valor médio do intervalo a que a barra se refere. Por exemplo, no histograma de fissura da Figura 4.5, a segunda barra com valor no eixo x de 0,08 representa as amostras com FD entre 0,05 e 0,11. O mesmo raciocínio vale para as outras barras, de forma que, para fissuras, cada

uma das sete barras tem espessura de 0,06. O valor de y ainda para a segunda barra é 20, o que significa que 20 amostras apresentaram FD para fissuras entre 0,05 e 0,11.

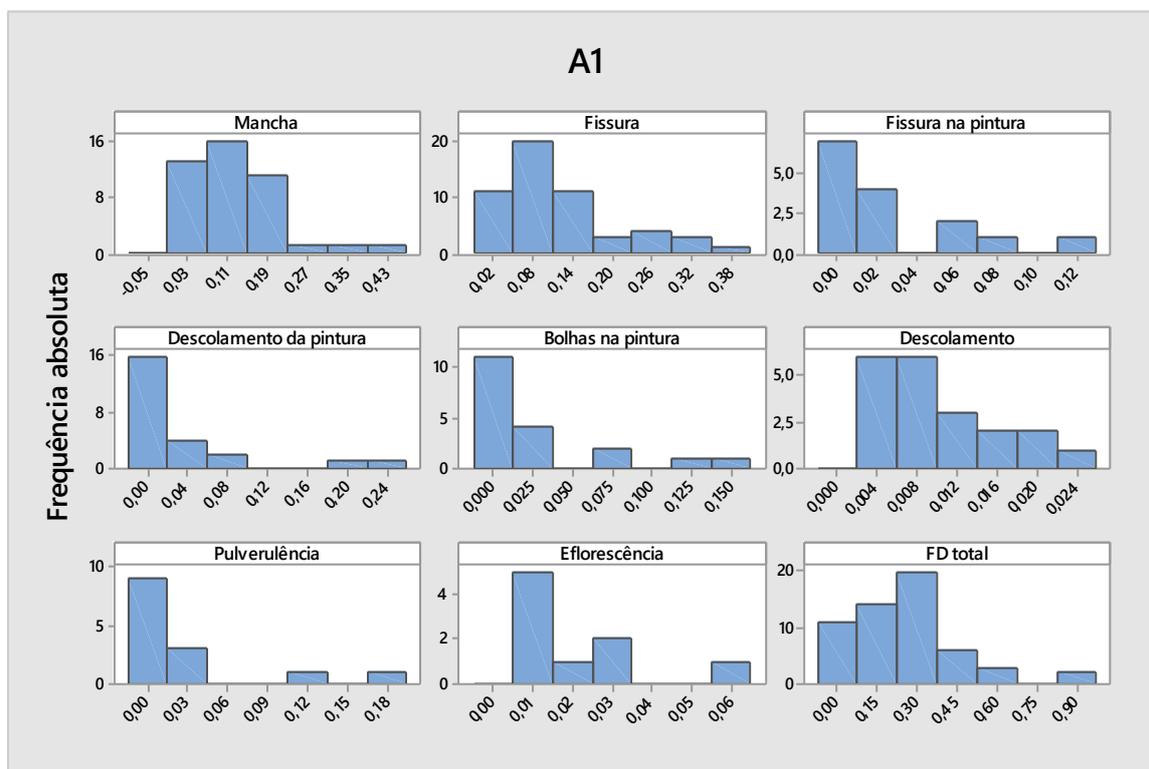


Figura 4.5 – Histograma do FDtotal – A1

A comparação entre o FDtotal e a Tabela 4-1 indica que a distribuição do FD para o edifício A1 possui tendência central em torno da média. Entretanto, este comportamento não se repete para as patologias tomadas individualmente. Os problemas na pintura (descolamento, bolha e fissura), pulverulência e eflorescência, apresentam distribuição assimétrica à esquerda. Manchas, fissuras e descolamento exibem um comportamento intermediário entre os dois citados, mas, ainda sim, concentram-se em torno de valores abaixo da média.

Tabela 4-1 – Principais valores estatísticos para o FDtotal – A1

Patologia	Média	Desvio Padrão
Mancha	0,124	0,087
Fissura	0,120	0,094
Fissura na pintura	0,029	0,037
Descolamento da pintura	0,033	0,061
Bolhas na pintura	0,029	0,043
Descolamento	0,010	0,006
Pulverulência	0,033	0,052
Eflorescência	0,021	0,019
FDTotal	0,256	0,189

Como observado na Tabela 4-1, o FD_{total} possui média de 0,256 e as amostras se distribuem em torno deste valor. Esse valor não corresponde, entretanto, à área real degradada, pois pode ocorrer a sobreposição de patologias. Por exemplo, um FD resultaria igualmente em 0,2 se 20% da área total se exibisse apenas manchas, ou se apenas 5% apresentasse quatro tipos de patologias (manchas, fissuras, descolamento e eflorescência, por exemplo).

4.1.2 Edifício A2

Os edifícios identificados como A2 e A3 foram construídos a partir da mesma planta arquitetônica e possuem, inclusive, a mesma cor. Os edifícios possuem 6 andares e as prumadas possuem três módulos iguais separados por juntas de dilatação.

A Figura 4.6 apresenta a fachada principal do edifício (prumada leste) voltada para um estacionamento térreo. Há muitas árvores altas em frente às outras faces da fachada (prumada oeste e empenas norte e sul).

Edifício A2

Tipo de edificação: Residencial;

Ano de ocupação: 1975;

Número de pavimentos: 6 pavimentos tipo;

Acabamento de fachada: reboco e pintura;

Número de amostras: 66 (6 em empenas e 60 em prumadas).



Figura 4.6 – Fachada principal do edifício A2.

Assim como no edifício A1, as patologias mais recorrentes no edifício A2, em termos do FD, foram manchas e fissuras. Entretanto, neste caso, a proporção de manchas (60%) foi superior à de fissuras (34%), o que pode ser verificado comparando os gráficos da Figura 4.3 e Figura 4.7.

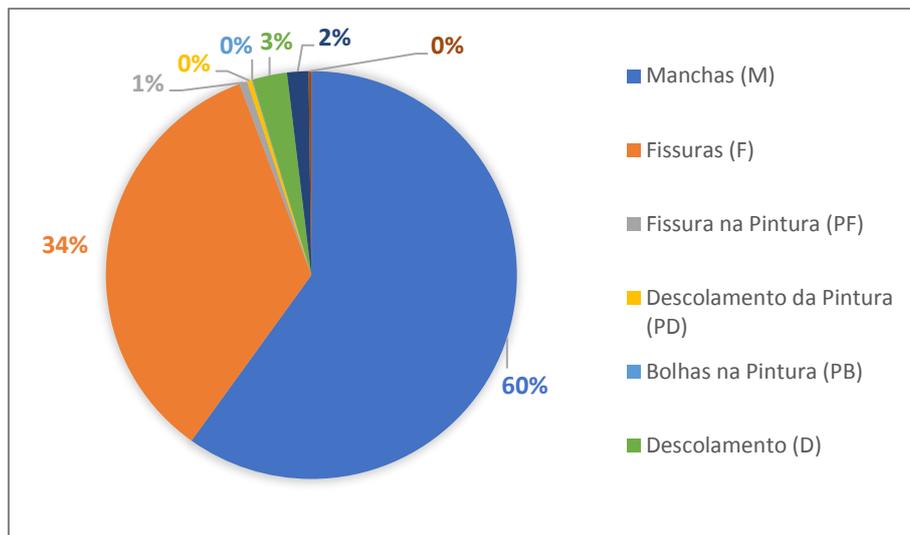


Figura 4.7 – Patologias presentes no edifício A2.

Proporção semelhante ao mostrado na Figura 4.7 se manteve nas amostras divididas por orientação, representadas pelos gráficos da Figura 4.8. Não há grande distinção entre as orientações, com exceção das amostras da sul, que apresentaram também significativa proporção de descolamento (7%) e pulverulência (11%).

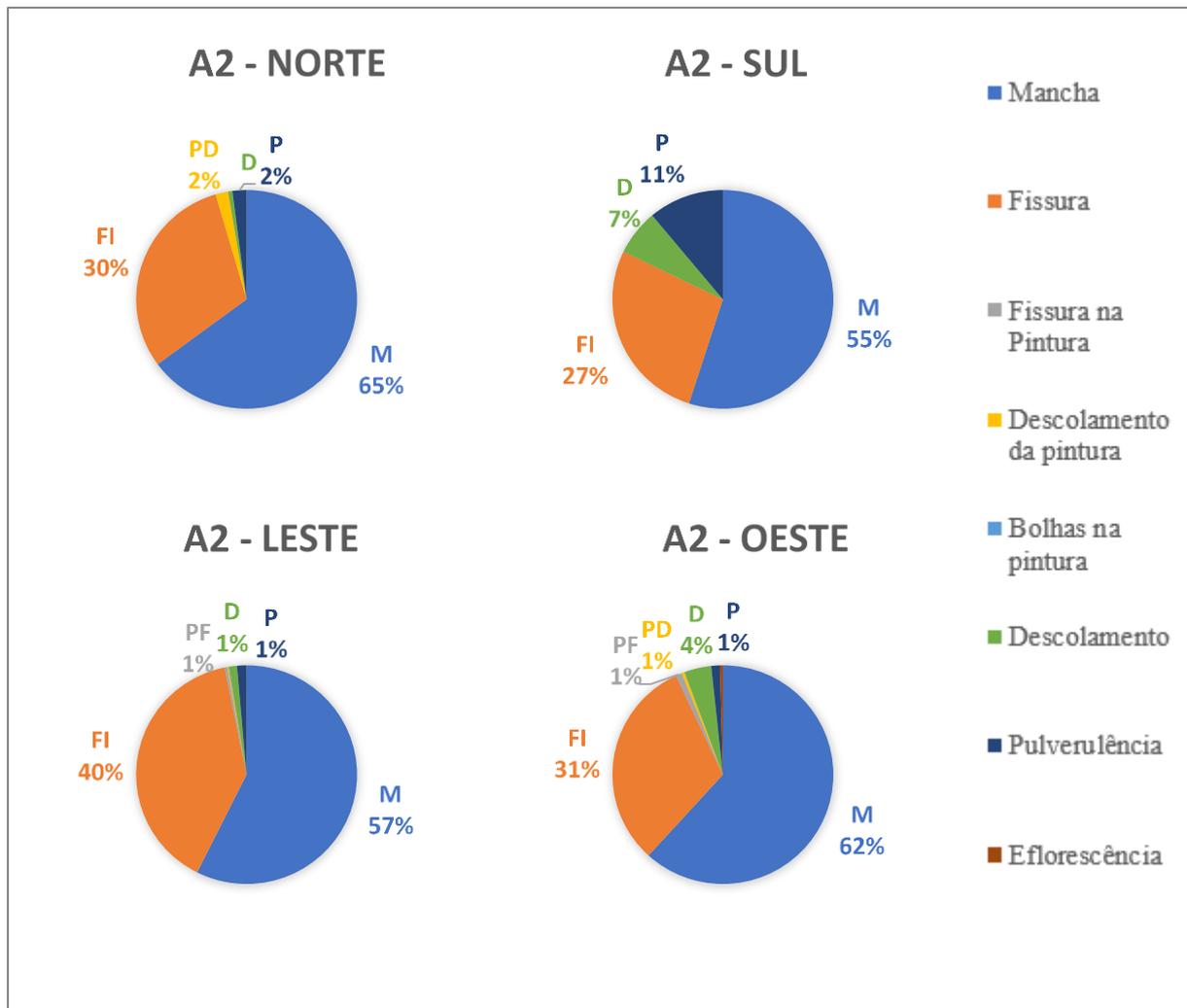


Figura 4.8 – Patologias no edifício A2 por orientação

Como pode ser observado na Figura 4.9, a ocorrência de falhas nas pinturas (bolhas, descolamento e fissura) e eflorescência foi pouco frequente, correspondendo a menos de 11% das amostras. O descolamento apresentou distribuição fortemente assimétrica à esquerda, já pulverulência, manchas e fissuras possuem tendência mais central. A Tabela 4-2 mostra que as manchas são as que possuem maior $FD_{\text{médio}}$ (0,226), seguida por fissuras (0,132) e descolamento (0,098), sendo estas as principais falhas encontradas no edifício.

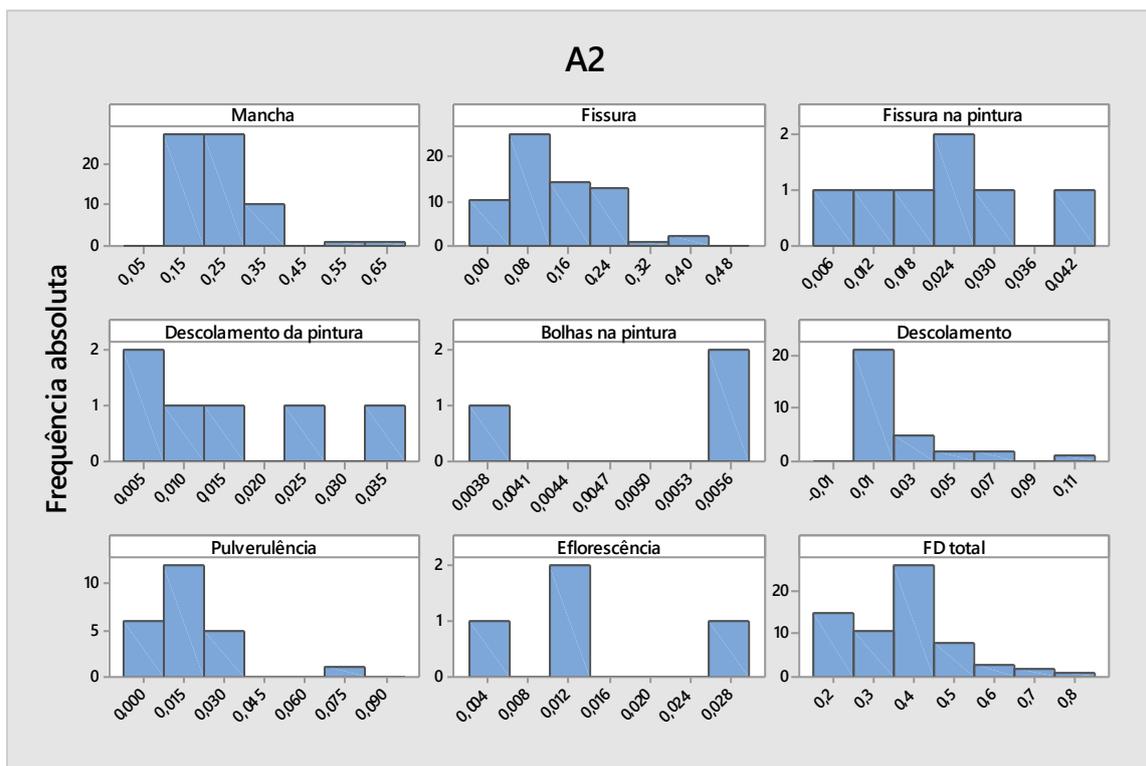


Figura 4.9 – Histograma do FD para as patologias do edifício A2.

O FD_{total} possui tendência central, com elevada concentração de valores em torno da média. Cerca de 40% das amostras apresentaram valores entre 0,35 e 0,45, como pode ser observado na Figura 4.9. A Tabela 4-2 mostra que o FD_{total} obteve elevada média (0,377) e baixo desvio padrão (0,133), quando comparado com o edifício A1 (0,256 e 0,189, respectivamente, verificado na Tabela 4-1), o que sugere que a degradação é mais uniforme ao longo do edifício A2.

Tabela 4-2 – Principais valores estatísticos para o FD_{total} – A2

Patologia	Média	Desvio Padrão
Mancha	0,226	0,089
Fissura	0,132	0,091
Fissura na pintura	0,022	0,011
Descolamento da pintura	0,016	0,011
Bolhas na pintura	0,005	0,001
Descolamento	0,098	0,006
Pulverulência	0,017	0,017
Eflorescência	0,013	0,009
FDTotal	0,377	0,133

4.1.3 Edifício A3

O edifício A3 está localizado em frente ao edifício anterior (A2), sendo a fachada principal (oeste) voltada para o estacionamento, e a prumada leste e empenas com árvores ao redor. A Figura 4.10 apresenta a foto do trecho inicial mais ao norte da prumada oeste, e trecho da empena norte.

Edifício A3

Tipo de edificação: Residencial;

Ano de ocupação: 1975;

Número de pavimentos: 6 pavimentos tipo;

Acabamento de fachada: reboco e pintura;

Número de amostras: 66 (6 em empenas e 60 em prumadas).



Figura 4.10 – Lado norte da prumada oeste – edifício A3.

Semelhantemente ao edifício A2, a patologia mais recorrente foi a mancha (66%), seguida de fissura (28%), como pode ser observado na Figura 4.11. Em relação às orientações cardeais, mostradas na observou-se diferente comportamento, aferido por meio dos gráficos da Figura 4.12. Nas fachadas norte e oeste observou-se maior proporção de manchas em relação ao edifício total (69% e 74%, respectivamente), enquanto que na oeste, maior proporção de fissuras

(40%). Entretanto, a que mais se distinguiu foi a fachada sul, que apresentou grande proporção de pulverulência (28%), inclusive maior que a de fissuras (21%).

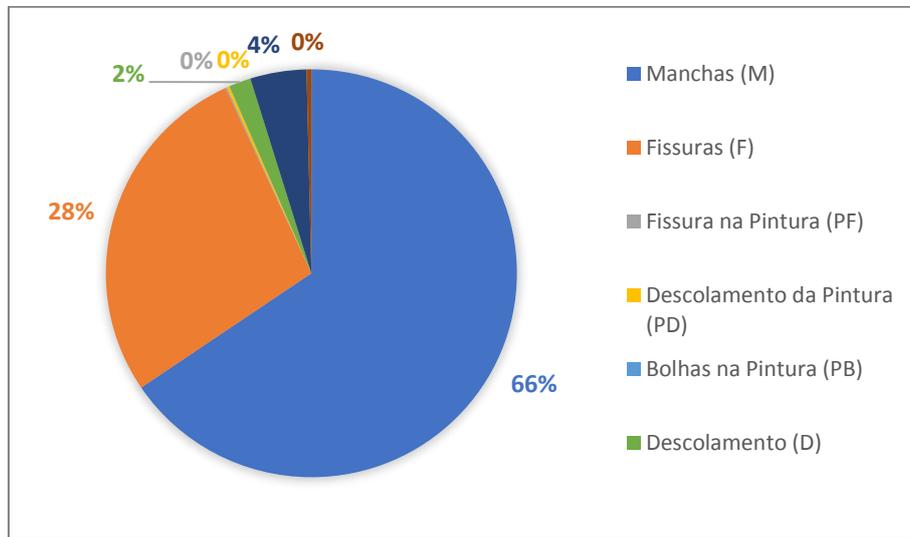


Figura 4.11 – Patologias presentes no edifício A3

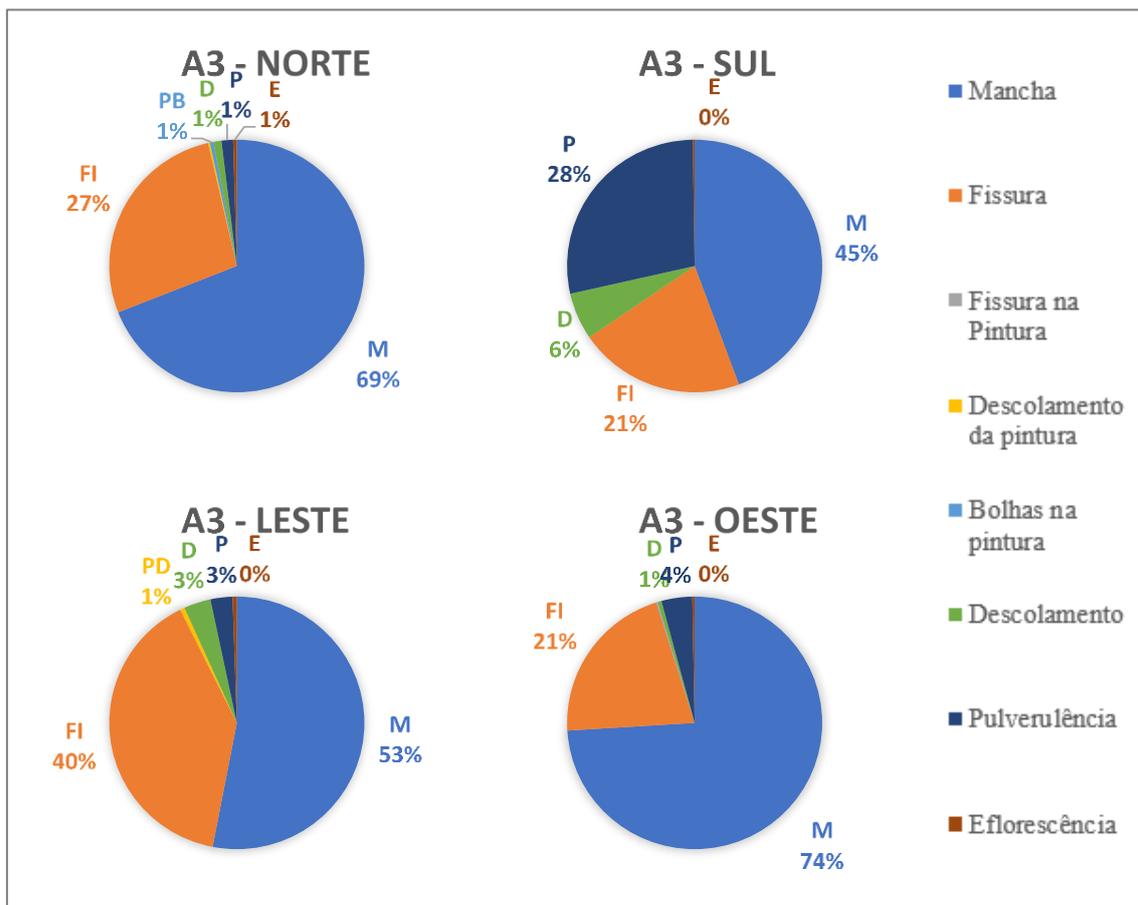


Figura 4.12 – Patologias no edifício A3 por orientação

Como pode ser observado na Figura 4.13, semelhantemente ao edifício A2, o FD para falhas nas pinturas em A3 se distribuiu em torno de 0,10 e os problemas nas pinturas foram pouco recorrentes. Entretanto, para este edifício, mais amostras apresentaram eflorescência (10), comparado com 9 amostras no edifício A1 e 4 no A2. Ainda que este valor seja muito pequeno (menor que 0,02 para todas as amostras).

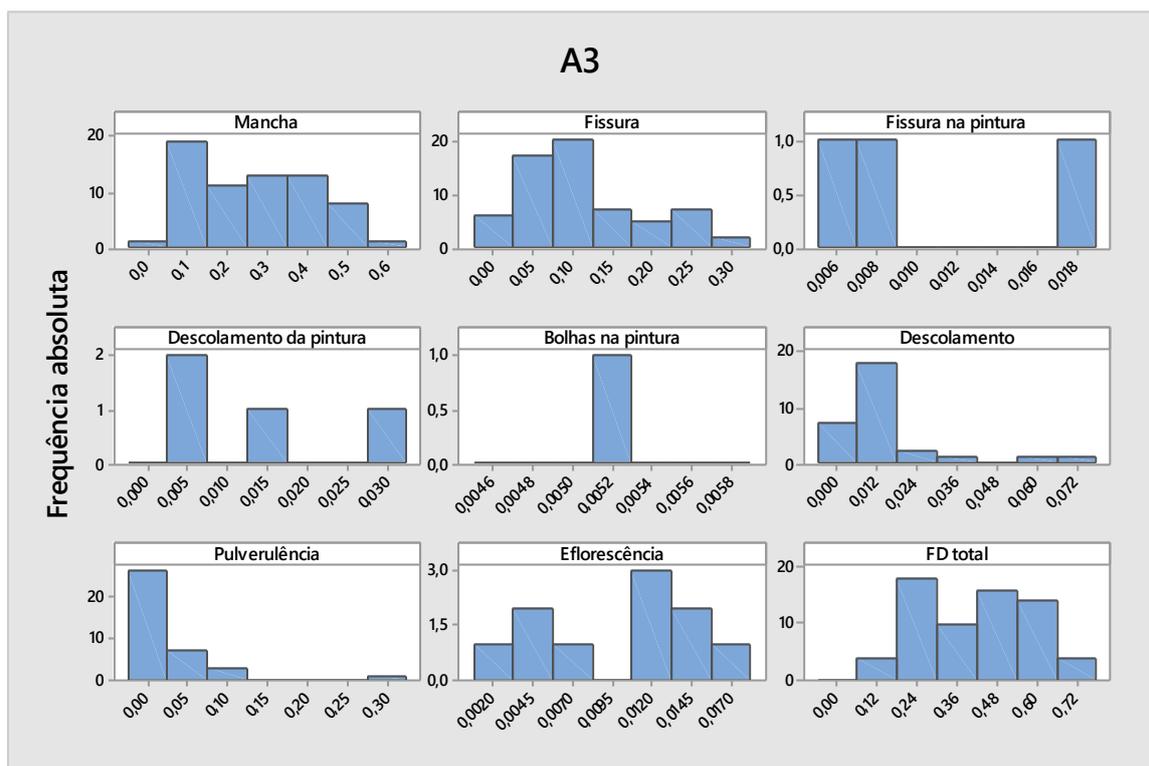


Figura 4.13 – Histograma do FD para as patologias do edifício A2.

A Tabela 4-2 mostra que o FD_{total} médio é de 0,410, revelando grande degradação ao longo do edifício comparado com o A1. Conforme Figura 4.13, a maioria das amostras possui FD_{total} entre 0,2 e 0,6.

Tabela 4-3 – Principais valores estatísticos para o FD_{total} – A3

Patologia	Média	Desvio Padrão
Mancha	0,269	0,141
Fissura	0,116	0,077
Fissura na pintura	0,010	0,006
Descolamento da pintura	0,014	0,012
Bolhas na pintura	-	-
Descolamento	0,022	0,024
Pulverulência	0,032	0,050
Eflorescência	0,010	0,005
FDTotal	0,410	0,170

4.2 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS POR ORIENTAÇÃO

O objetivo desta análise é verificar se há relação entre o grau de degradação e as patologias que se manifestam, e a orientação cardinal das fachadas. Esta hipótese baseia-se no fato de que as fachadas, de acordo com sua orientação, recebem diferente influência de radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano, principais agentes climáticos de degradação.

Nascimento (2016), com base nos dados do *Typical Meteorological Year* (TMY) para Brasília-DF entre os anos 2000 e 2010, mostra que a orientação norte é a que recebe maior incidência de irradiância e chuva dirigida, seguida da leste, oeste e sul, como pode ser observado na Figura 4.14.

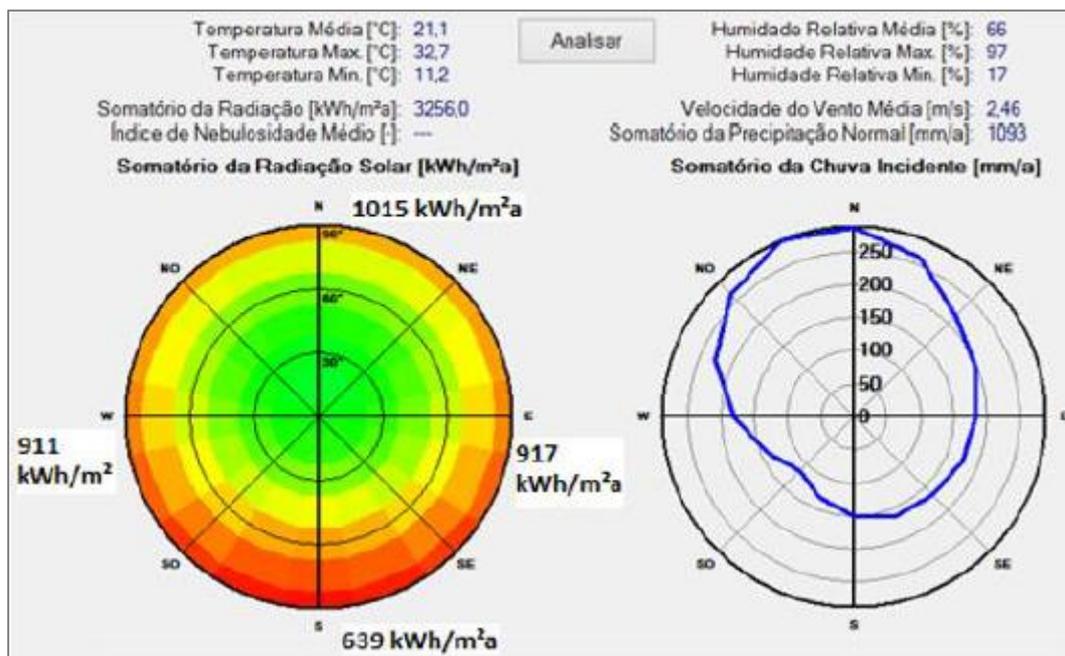


Figura 4.14 – Síntese do TMY para Brasília a partir da plataforma WUFI (NASCIMENTO, 2016).

Para análise da influência da orientação cardinal, foram utilizados os dados dos três edifícios estudados, totalizando 190 amostras. Em todos os casos, as empenas foram enquadradas nas faixas de norte e sul, e as prumadas em leste e oeste. Entretanto, obteve-se grande diferença na quantidade total de amostras por orientação, de tal forma que 7 amostras correspondem ao norte, 7 ao sul, 87 ao leste e 89 ao oeste. Portanto, são mais relevantes os resultados obtidos e comparações para as orientações leste e oeste, realizando-se, por esse motivo, análise mais detalhada para estas duas orientações.

A Figura 4.15 apresenta a distribuição do FDtotal entre as amostras para as quatro orientações cardeais. A distribuição para as orientações norte e sul foi mais dispersa, enquanto que para leste e oeste mostrou tendência central, o que sugere que a média é um parâmetro significativo para caracterização do conjunto de amostras das orientações dessas duas.

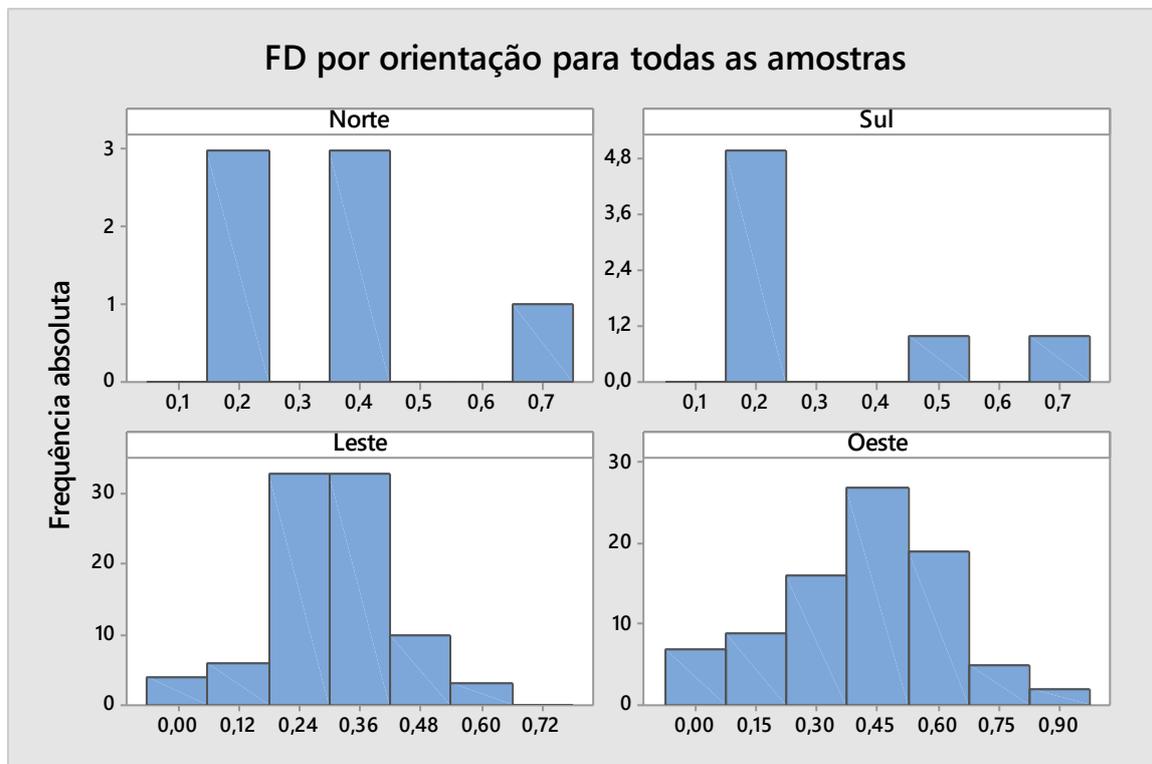


Figura 4.15 – Histogramas do FD por orientação

Os histogramas da Figura 4.16 e Figura 4.17 apresentam a distribuição dos FDs parciais das patologias de todas as amostras e o FDtotal. Para ambos os casos, há uma tendência central na distribuição de mancha, fissuras e FDtotal, e assimétrica a esquerda para falhas nas pinturas, descolamento, pulverulência e eflorescência.

Em geral, os valores das fachadas oeste são maiores que os da leste, o que pode ser facilmente verificado na Tabela 4-4. Com exceção de fissuras, todas as outras patologias apresentam média e mediana maior para a região oeste comparado com a leste. Entretanto, a diferença entre os valores médios das orientações para fissuras foi muito pequena (0,002).

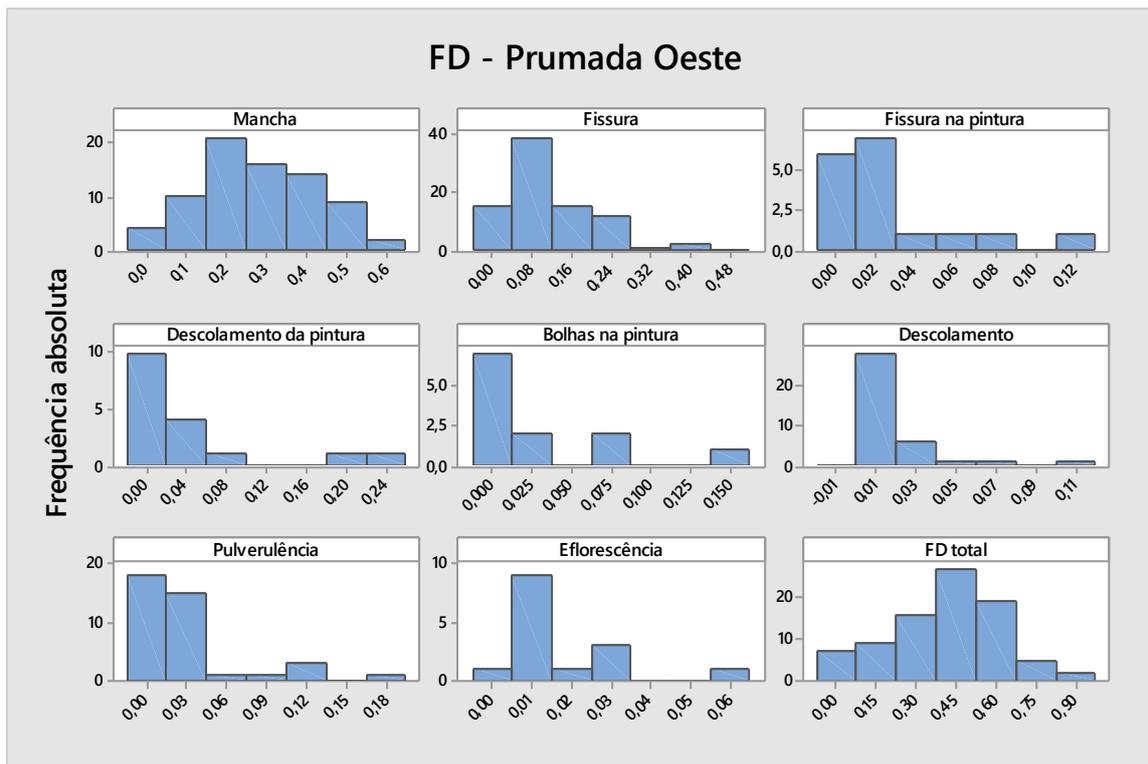


Figura 4.16 – Histogramas para o FD da orientação oeste.

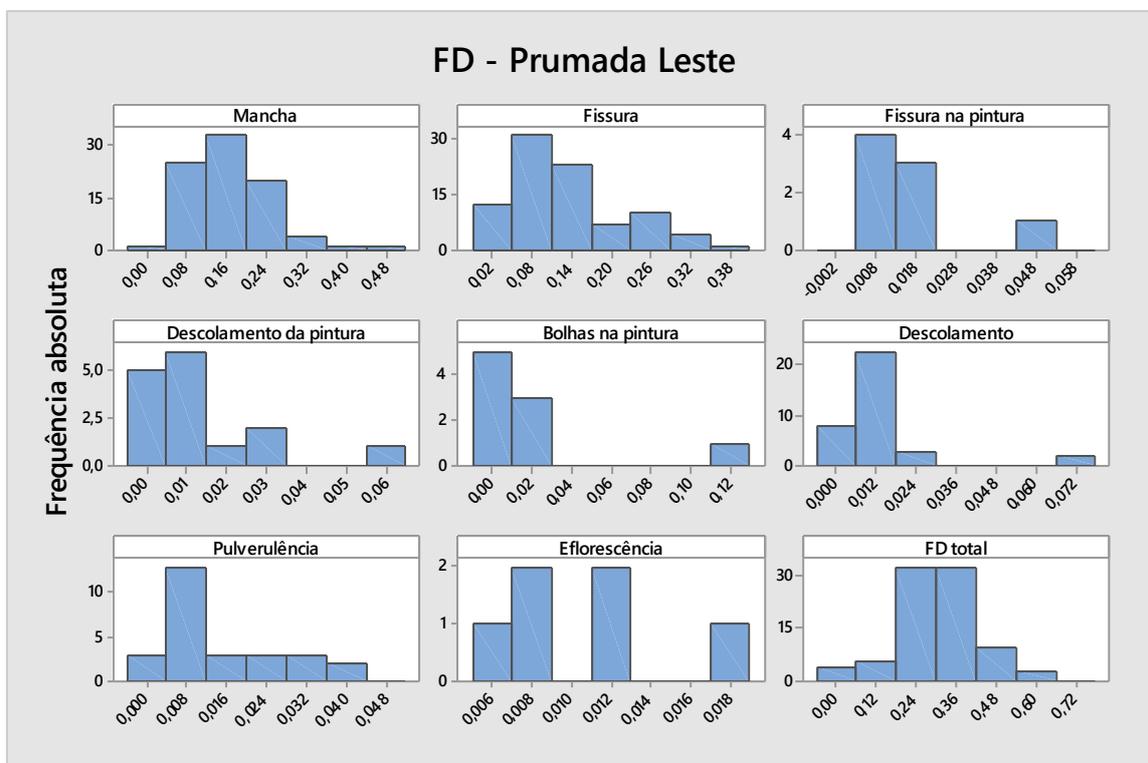


Figura 4.17 – Histogramas para o FD da orientação leste.

A partir da comparação entre os valores médios de FDtotal da Tabela 4-4, conclui-se que as patologias que apresentaram maior diferença entre as orientações leste e oeste foram manchas (0,114), seguida por descolamento na pintura (0,028) e pulverulência (0,016). Em termos percentuais da média, essas patologias na fachada oeste superaram em 41%, 66% e 50% respectivamente a ocorrência no leste.

Tabela 4-4 – Estatísticas para as orientações leste e oeste.

Patologia	Orientação	Nº de amostras não nulas	Nº de amostras nulas	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Mancha	L	85	4	0,164	0,079	0,037	0,157	0,446
	O	76	11	0,279	0,144	0,008	0,293	0,607
Fissura	L	88	1	0,134	0,088	0,012	0,111	0,408
	O	84	3	0,114	0,086	0,012	0,086	0,427
Fissura na pintura	L	8	81	0,017	0,016	0,004	0,012	0,053
	O	17	70	0,029	0,034	0,001	0,016	0,129
Descolamento da pintura	L	15	74	0,014	0,016	0,003	0,008	0,063
	O	17	70	0,042	0,071	0,001	0,012	0,253
Bolhas na pintura	L	9	80	0,021	0,036	0,002	0,009	0,116
	O	12	75	0,031	0,047	0,001	0,012	0,161
Descolamento	L	36	53	0,014	0,016	0,004	0,008	0,078
	O	37	50	0,018	0,020	0,003	0,011	0,105
Pulverulência	L	27	62	0,016	0,012	0,002	0,012	0,044
	O	39	48	0,031	0,038	0,004	0,017	0,172
Eflorescência	L	6	83	0,011	0,004	0,006	0,010	0,018
	O	15	72	0,018	0,015	0,004	0,012	0,065
FDtotal	L	89	0	0,306	0,124	0,024	0,312	0,657
	O	85	2	0,405	0,208	0,012	0,424	0,855

As médias dos FDtotais também indicaram maior degradação na fachada oeste (0,405) que na leste (0,306). Como verificação adicional e mais profunda desse resultado, realizou-se análise de variância (ANOVA).

Utilizou-se o Minitab para análise dos dois conjuntos de dados, correspondentes às duas orientações. A análise da ANOVA é realizada com base no índice “ p ”, a obtenção de valores menores que 0,05 para este índice indica que os conjuntos de dados são estatisticamente diferentes. A Figura 4.18 apresenta o resultado desta análise, para o qual o valor de “ p ” foi 0,00, o que significa os dois conjuntos de dados são diferentes, podendo-se concluir que o FD e, portanto, a degradação das fachadas, é maior para a orientação oeste que para a leste.

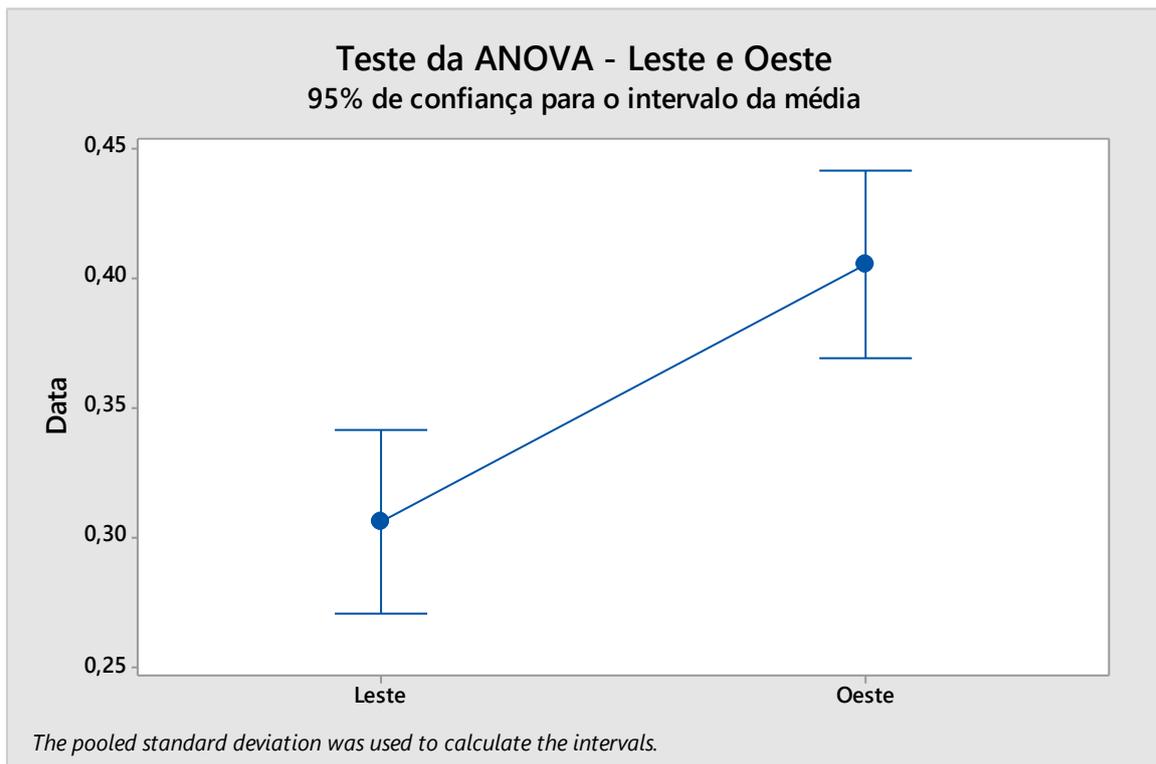


Figura 4.18 – Gráfico da ANOVA para o FDtotal das orientações leste e oeste.

Tais resultados estão de acordo com os observados por Nascimento (2016), que apresentaram maior incidência de radiação solar e, sobretudo, de chuva dirigida ao longo do ano para as fachadas oeste que para as leste.

Conclui-se, portanto, que a chuva dirigida (por meio da ação da umidade e do vento, que contribui com a penetração de água e de substâncias sólidas) e a temperatura (que combinada com o efeito da umidade promove fenômenos cíclicos de tração e retração), são fatores relevantes no aparecimento de patologias. O que é coerente com a maior degradação nas fachadas cuja orientação recebe maior incidência desses dois fatores.

4.3 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS POR REGIÃO

Esta análise busca identificar se há uma região preferencial da fachada para a manifestação de patologias, independente da orientação da fachada. Com base no FD das 190 amostras calculado em função da área da região, foi construído o gráfico da Figura 4.19.

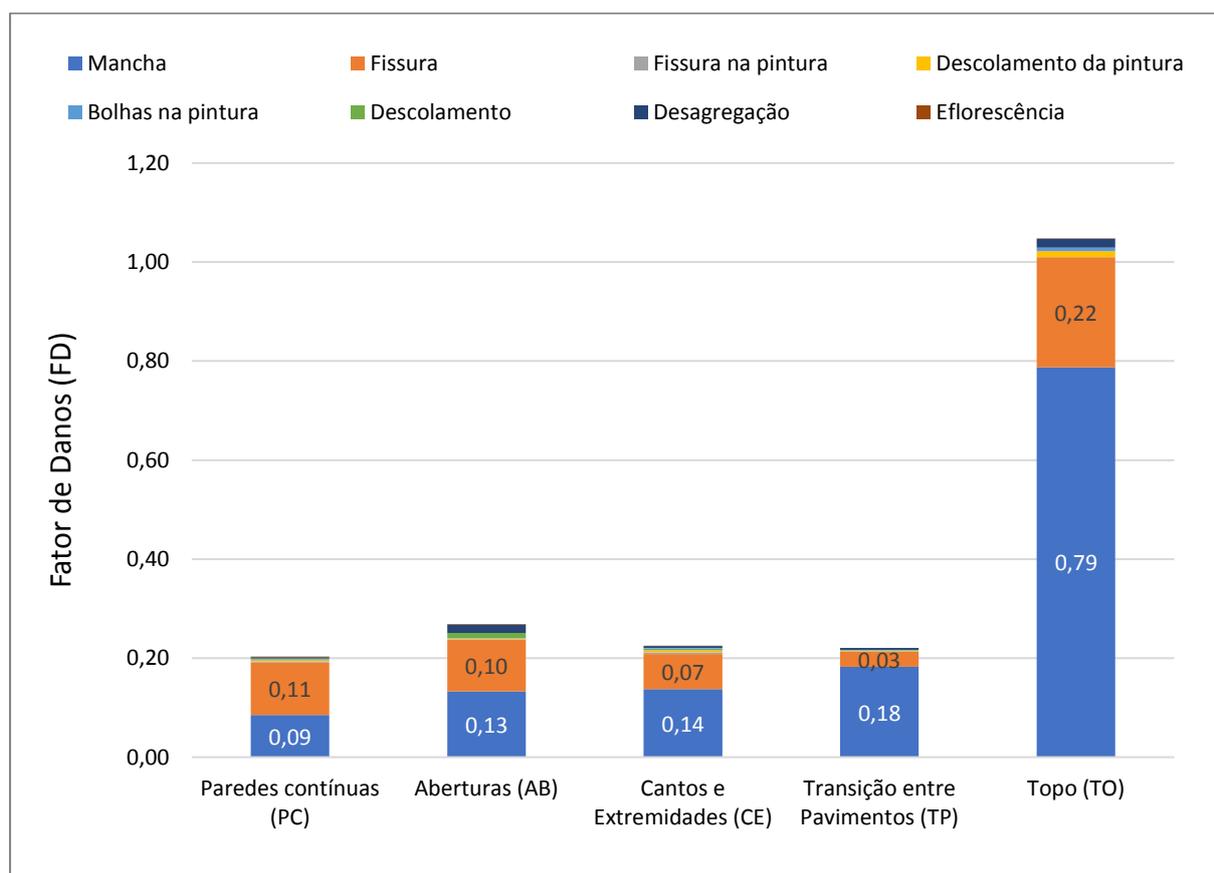


Figura 4.19 – Gráfico do FD médio por região da fachada.

Observa-se que o topo (TO) é a região com maior grau de degradação, com ocorrência principalmente de manchas, em média em 79% da área de cada amostra e de fissuras (22%). As demais regiões apresentam FD em torno de 0,20, também com ocorrência predominante de manchas e fissuras.

Entretanto, nem todas as patologias possuem topo como região preferencial, como pode ser observado na Figura 4.20. A ocorrência no topo é maior que a das outras regiões para manchas (59%), fissuras (42%), descolamento na pintura (57%), bolhas na pintura (55%) e desagregação

(40%). Já descolamento possui maior ocorrência em aberturas (68%) e eflorescência em parede contínua (43%).

Destaca-se que estes são resultados preliminares, uma análise mais profunda da relação entre a ocorrência das patologias demandaria também análise da distribuição das amostras e, talvez, um método mais elaborado para classificação de cada problema em uma região. Tendo em vista que o método de gradeamento utilizado permite que em uma unidade de malha sejam identificados elementos de mais de uma região, como explicado no capítulo 3.2.5. Assim, por exemplo, no caso em que há uma janela próxima a um canto, uma fissura no canto seria classificada como abertura, devido à sequência utilizada de prioridade entre as regiões.

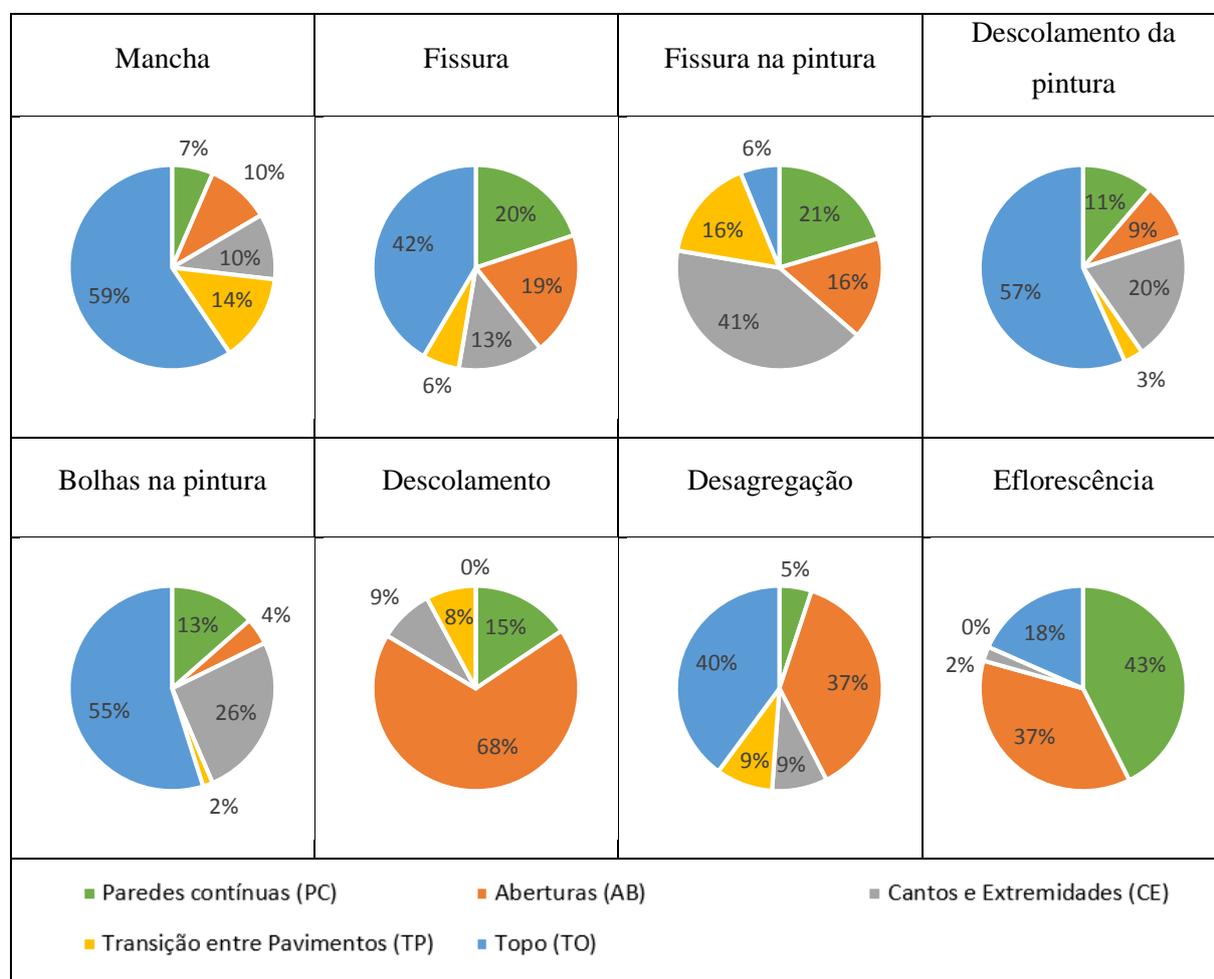


Figura 4.20 – Ocorrência das patologias nas regiões de fachada.

Os resultados apresentados mostram que o topo é a região mais degradada da fachada, com diferença significativa em relação às outras. Isso está de acordo com o afirmado por Nascimento

(2016), que o topo é uma das principais regiões atingidas pela chuva dirigida (uma importante fonte de água no edifício). Ademais, a umidade é um fator significativa na ocorrência de diferentes patologias, como manchas, descolamentos, eflorescência.

A grande ocorrência de fissuração é também explicada por Santos (2017), pois devido à condição de exposição da laje de cobertura ao intemperismo, há grande movimentação deste elemento. Em especial o revestimento em argamassa, por ser mais poroso, é o que mais apresenta desgaste natural com o tempo. Além disso, a fissuração facilita a penetração de água, favorecendo a ocorrência de outras patologias, como explicado anteriormente.

Este resultado pode ser comparado, ainda, com os obtidos por Souza (2016), que mostra que a degradação nos topos é elevada principalmente para edifícios mais antigos (com idade superior a 25 anos), no qual se enquadram os edifícios A2 e A3 desta pesquisa.

4.4 RESULTADOS GERAIS

Este capítulo aborda os resultados referentes ao conjunto dos três edifícios e comparação entre estes. Como pode ser observado na Tabela 4-5, o edifício A1 foi o que apresentou menor FD médio (0,256) e maior desvio padrão (0,188), o que indica que esse é o edifício com menor grau de degradação, mas com maior variabilidade entre as amostras, ou seja, a degradação não ocorre de maneira uniforme ao longo do edifício.

Os edifícios A2 e A3 exibiram grau similar de degradação, 0,378 e 0,410 respectivamente. O que era esperado, já que possuem mesma idade e mesma planta arquitetônica. Este resultado é relevante, pois mostra que as patologias estudadas estão mais relacionadas com o processo de degradação do que com falhas executivas individuais de cada edifício.

Tabela 4-5 – Resumo do FD médio para os edifícios A1, A2 e A3.

Edifício	Nº de amostras não nulas	Nº de amostras nulas	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
A1	56	2	0,256	0,188	0,012	0,233	0,855
A2	66	0	0,377	0,133	0,171	0,382	0,767
A3	66	0	0,410	0,171	0,081	0,422	0,763

A Figura 4.21 mostra a comparação entre os valores médios de FD para cada patologia. Os edifícios A2 e A3 apresentaram comportamento mais parecido, com maior FD de manchas (0,226 e 0,269 respectivamente), seguido por fissuras (0,132 e 0,116). Já o edifício A1, manifestou menor ocorrência dos dois problemas, sendo que o FD de fissuras (0,124) foi ligeiramente superior ao de manchas (0,120). Este resultado pode ser explicado pela idade avançada dos edifícios A2 e A3 (42 anos), a qual, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) significaria que as fachadas superaram a vida útil mínima (40 anos) recomendada.

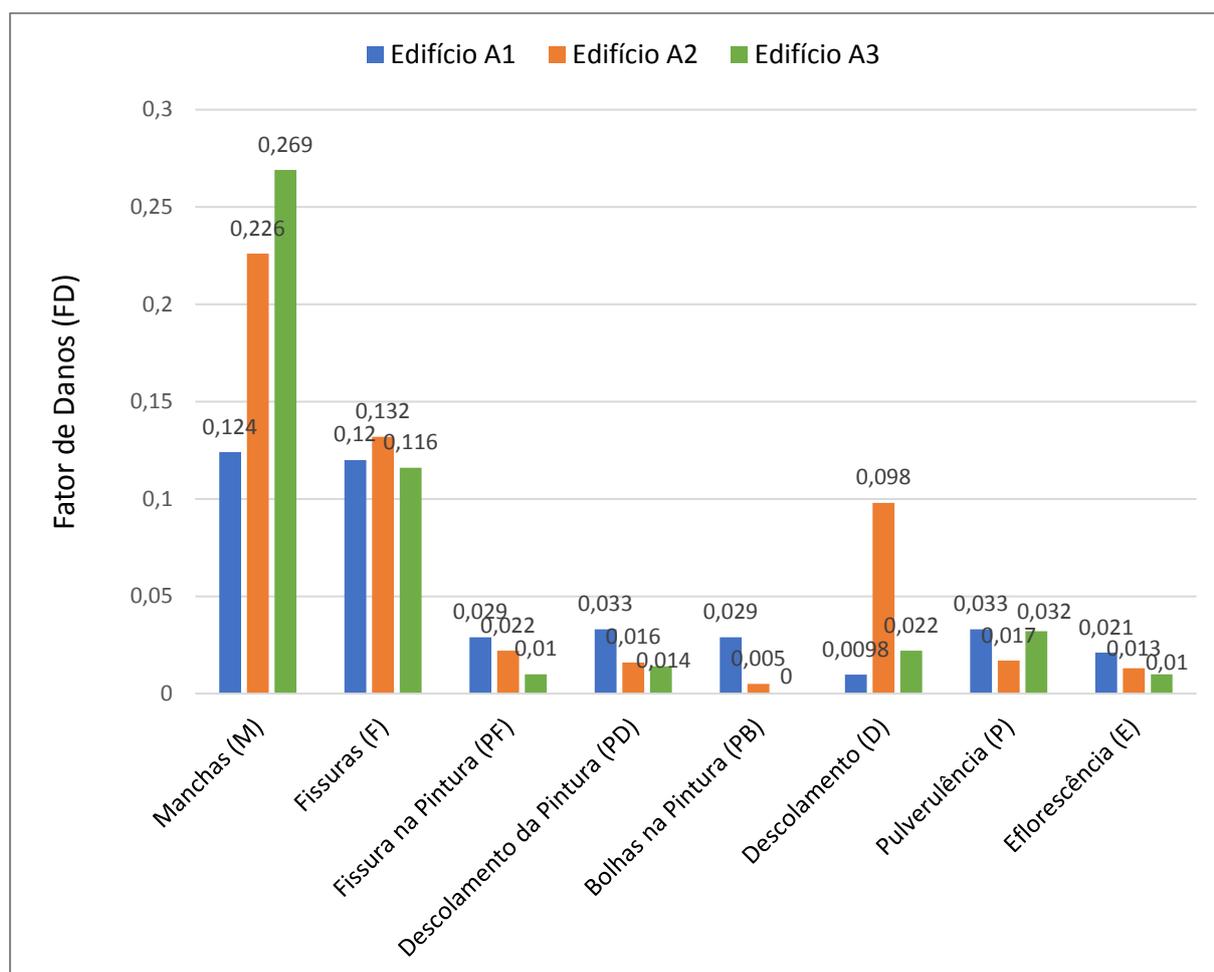


Figura 4.21 – Comparação entre os FD médios dos edifícios A1, A2 e A3 para cada patologia.

Ainda com relação à Figura 4.21, pode-se observar que o edifício A1 foi o que manifestou maior ocorrência de patologias relacionadas ao sistema de pinturas. E os descolamentos observados no edifício A2 se manifestaram em áreas maiores, tendo em vista o elevado FD desta anomalia (0,098), apesar da baixa ocorrência (de acordo com a Figura 4.7, apenas 3% das patologias encontradas no edifício A2 são relativas a descolamentos).

O gráfico de setores referente à Figura 4.22 mostra que 91% da ocorrência de patologias corresponde a manchas e fissuras, com pequenas porcentagens para os outros tipos. Entretanto, como exibido na Tabela 4-6, há manifestação de todos os tipos em pelo menos 23 amostras.

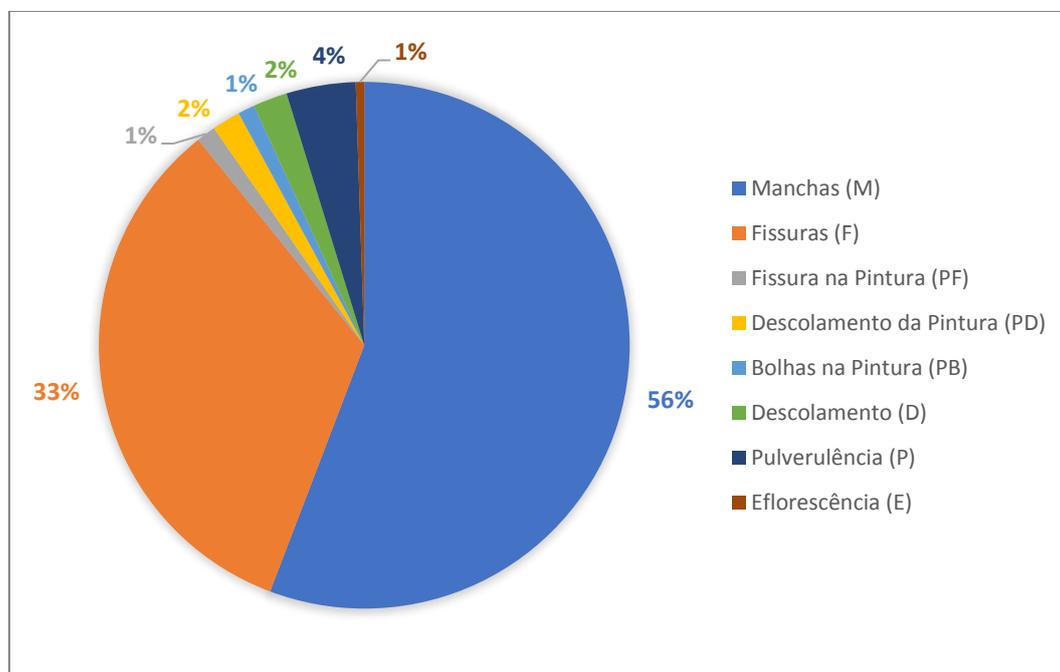


Figura 4.22 – Recorrência das patologias nas 190 amostras.

Tabela 4-6 – Estatísticas para as 190 amostras

Patologia	Nº de amostras não nulas	Nº de amostras nulas	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Mancha	175	15	0,217	0,124	0,008	0,196	0,607
Fissura	182	8	0,123	0,087	0,012	0,098	0,427
Fissura na pintura	25	159	0,025	0,030	0,001	0,015	0,129
Descolamento da pintura	34	153	0,028	0,053	0,001	0,012	0,253
Bolhas na pintura	23	162	0,025	0,040	0,001	0,012	0,161
Descolamento	81	109	0,017	0,018	0,003	0,011	0,105
Pulverulência	75	115	0,028	0,043	0,002	0,012	0,291
Eflorescência	23	167	0,015	0,013	0,003	0,012	0,065
FD total	188	2	0,353	0,176	0,012	0,352	0,855

Depreende-se dos histogramas da Tabela 4-6 e da Figura 4.23 que, dada a tendência central e baixo desvio padrão dos FDs parciais de manchas e fissuras e, principalmente, do FDtotal; a média é um indicador confiável que pode ser tomado como base para análises e comparações. O mesmo não pode ser estendido para as patologias no sistema de pintura (manchas, fissuras e bolhas), descolamento e pulverulência, com tendência assimétrica à esquerda. Para esses, o desvio padrão é muito alto, chegando na maioria dos casos a superar o próprio valor da média.

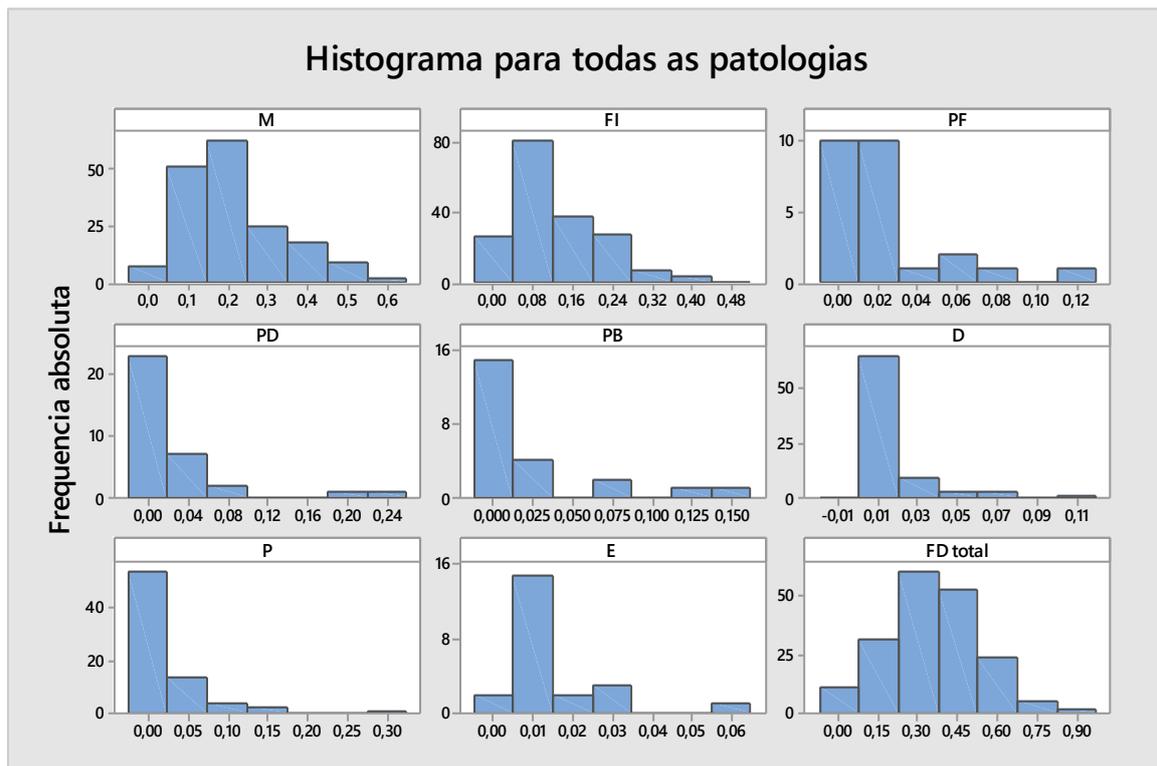


Figura 4.23 – Histogramas para todas as patologias das 190 amostras.

Entretanto, o FDtotal apresenta tendência central e aproximadamente normal, sugerindo que a média (0,35) é um valor representativo do espaço amostral (conjunto formado pelos edifícios A1, A2 e A3).

Comparando com os requisitos dispostos na NBR 15571-1 (ABNT, 2013), quanto ao descolamento, as amostras atenderam ao máximo de 5% do pano de fachada tolerado, mas superaram a área individual de 0,10 m² recomendada, já que uma unidade da grade utilizada na contabilização dos danos equivale a 0,25 m². Entretanto, a norma considera toleráveis apenas as falhas não detectáveis a olho nu por um observador a 1m de distância, o que significa que as patologias detectadas estão em desacordo com a norma. Conclui-se que os edifícios analisados

não atendem aos requisitos mínimos de desempenho e, portanto, chegaram ao fim de sua vida útil. Esse resultado era esperado para os edifícios A2 e A3, que de fato superaram os 40 anos indicados como vida útil mínima dos sistemas de revestimento.

5. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi analisada a degradação de fachadas em argamassa para três edifícios em Brasília com base no fator de danos (FD). Os resultados permitiram a análise da distribuição das amostras e da influência da orientação cardeal e das regiões da fachada na ocorrência de patologias. As conclusões decorrentes do processo utilizado e resultados obtidos foram:

- A inspeção de edifícios mostrou-se adequada para o estudo da degradação, pois permite avaliar o sistema em sua condição real de exposição.
- O método de quantificação das patologias por meio de fotografias também mostrou ser adequado, aumentando a precisão na identificação das patologias e definição das áreas de influência, em comparação com inspeção visual.
- As patologias selecionadas para o estudo (mancha, fissura, fissura na pintura, bolhas na pintura, descolamento da pintura, descolamento, desagregação e eflorescência) foram relevantes, tendo em vista que todas apresentaram ocorrência em pelo menos 23 amostras.
- Manchas e fissuras são as patologias mais frequentes nas fachadas em argamassa e se manifestam geralmente em grandes áreas ao longo de todo o edifício.
- A orientação cardeal mostrou grande influência na degradação de fachadas, visto que fachadas oeste são mais degradadas que as leste, atribuindo-se a este resultado a ação diferenciada dos agentes climáticos (radiação solar e chuva dirigida).

- Os topos foram as regiões da fachada mais degradadas, especialmente por manchas, devido à elevada exposição à chuva dirigida e radiação solar. Entretanto não foram as regiões preferenciais para todos os grupos de patologias.
- A tendência central na distribuição do FD mostrou ser este um indicador importante no estudo comparativo entre edifícios e para a representação do grau de degradação das fachadas.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- O cálculo do FD é relevante em um primeiro momento, porém deve-se pensar em um modo de considerar níveis de gravidade das anomalias, com base no custo de reparo. Sugere-se, então, a utilização de índices, tais como o FGD, adotado por Souza (2016), mas adaptado às patologias em fachadas em argamassa.
- Como neste trabalho as análises entre as orientações cardeais ficaram limitada a leste e oeste, sugere-se a coleta de dados de edifícios com prumada voltada para o norte e sul, de modo a obter dados para expandir a análise para estas orientações.
- Sugere-se a realização de análise mais detalhada em função das regiões da fachada e elementos construtivos e comparação dos diferentes tipos de revestimentos de modo a identificar quais são as soluções mais eficientes.
- Finalmente, o estudo de soluções construtivas voltadas para a região de topo, de modo a evitar a ocorrência de patologias, sobretudo manchas e fissuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, G. R. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachada em Brasília – Sistematização da Incidência de Casos**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013

BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. de. Relatório técnico:n.º 07050058-b. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAUER, E., PAVÓN, E. **Termografia de infravermelho na identificação e avaliação das manifestações patológicas em edifícios**. *Concreto & Construções*. IBRACON, v. 79, p. 93, jul./set. 2015.

BAUER, R. J. F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Salvador – BA, 1997.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: Tecnologia das edificações. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 708 p., 1988.

GARRIDO, M. A. J. **Previsão da vida útil em pinturas de fachadas de edifícios antigos – Metodologia baseada na inspeção de edifícios em serviço**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

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.** Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009

GOLDBERG, R. P. *Directed Adhered Ceramic Tile, Stone & Thin Brick Facades – Technical Manual.* LATICRETE International, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-2: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service Life prediction procedures. International Organization for Standardization, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241: Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered. International Organization for Standardization, 1984.

LAMBOURNE, R; STRIVENS, T.A. *Paint and surface coatings – Theory and Practice.* Cambridge, Inglaterra: Woodhead Publishing Limited, 798 p.,1999.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PINHEIRO, P. I. S. **Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao Estudo das Fachadas de Edifícios em Brasília.** Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PORTEOUS, B. *The importance of Building Pathology. A State-of-art Report on Building Pathology. Building Pathology.* CIB W086, p.21, Universidade do Porto, 2013.

SANTOS, M. J. B. O. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, M. N. B. **Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUSA, R.; SILVA, F. M.; SOUSA, F. **Fachadas de edifícios**. Lisboa, Portugal: Lidel, 295 p., 2016.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

UEMOTO, K. L. **Problemas de pintura na construção civil**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 708 p., 1988.

ANEXOS

ANEXO A TUTORIAL - CONSTRUÇÃO DE PANORAMAS ORTOGONALIZADOS

Este tutorial é apresentado como material complementar da monografia “Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios”, apresentando detalhadamente os passos realizados em 3.2.4 (Mapeamento das patologias).

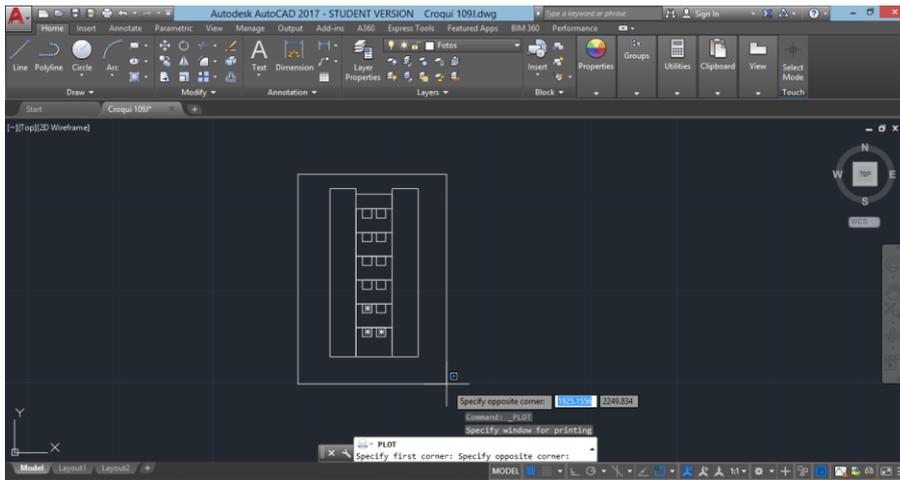
Ensina-se o passo-a-passo da construção de panoramas ortogonalizados no Adobe Photoshop CC 2015, desde a passagem do croqui do AutoCAD à obtenção do arquivo em formato JPG. O tutorial objetiva facilitar o processo de aprendizado daqueles que desejem realizar procedimento semelhante ao apresentado na pesquisa, e organiza-se da seguinte forma:

1. Como passar croqui do AutoCAD para o Photoshop
2. Como abrir e aumentar o tamanho do croqui no Photoshop
3. Preparando para sobrepor as imagens
4. Ajustando as fotos
5. Salvando as amostras

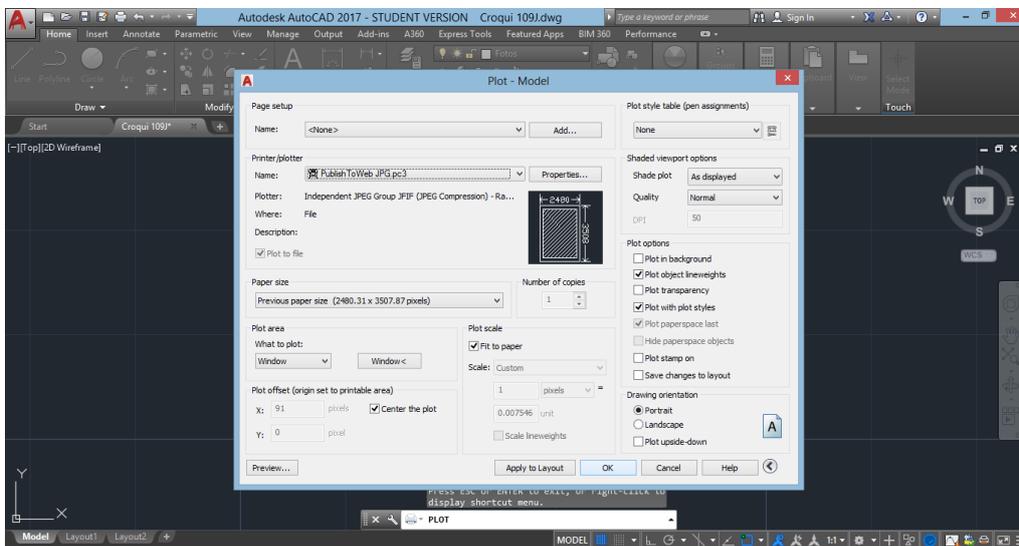
1. COMO PASSAR CROQUI DO AUTOCAD PARA O PHOTOSHOP

Ensina-se aqui o processo de obtenção do croqui com formato de imagem JPEG, o qual será utilizado como base dentro do Photoshop.

- a) Ctrl + P ou 
- b) Printer/Plotter --> dwg to jpeg
- c) Plot offset --> center the plot
- d) What to plot -> window
- e) Delimitar a janela enquadrando o desenho do croqui (2 pontas diagonais entre si)



f) Sua tela deverá ficar parecida com a figura abaixo.



g) Ok -> salvar

2. COMO ABRIR E AUMENTAR O TAMANHO DO CROQUI NO PHOTOSHOP

Comandos básicos do Photoshop

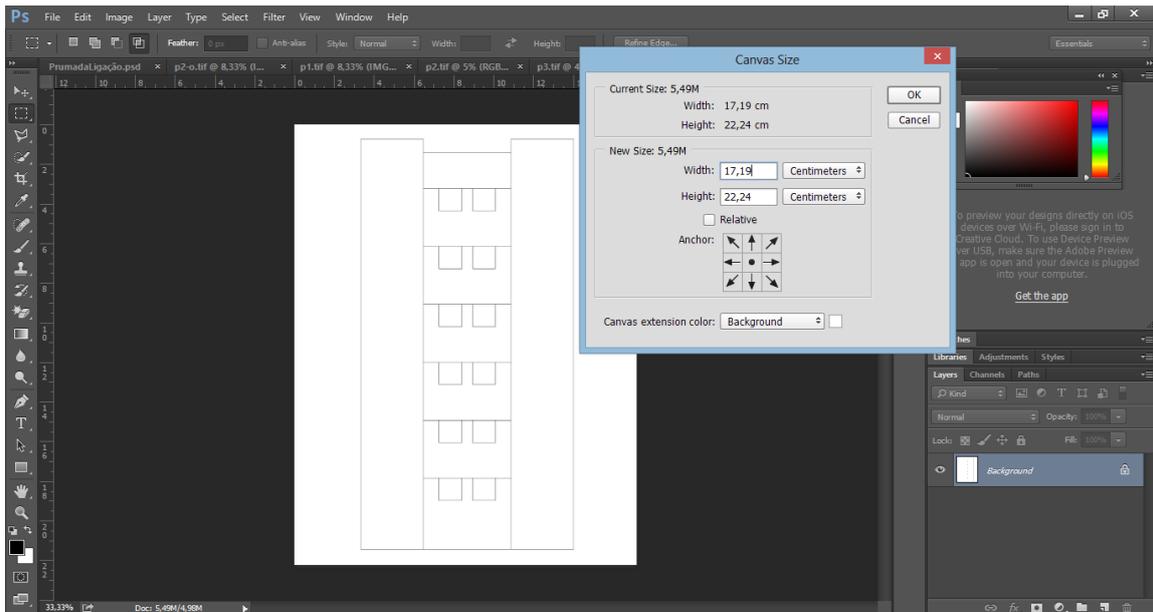
“Ctrl” + “D” = tirar seleção (não adianta pressionar Esc)

“Ctrl” + “+” = aumentar o zoom

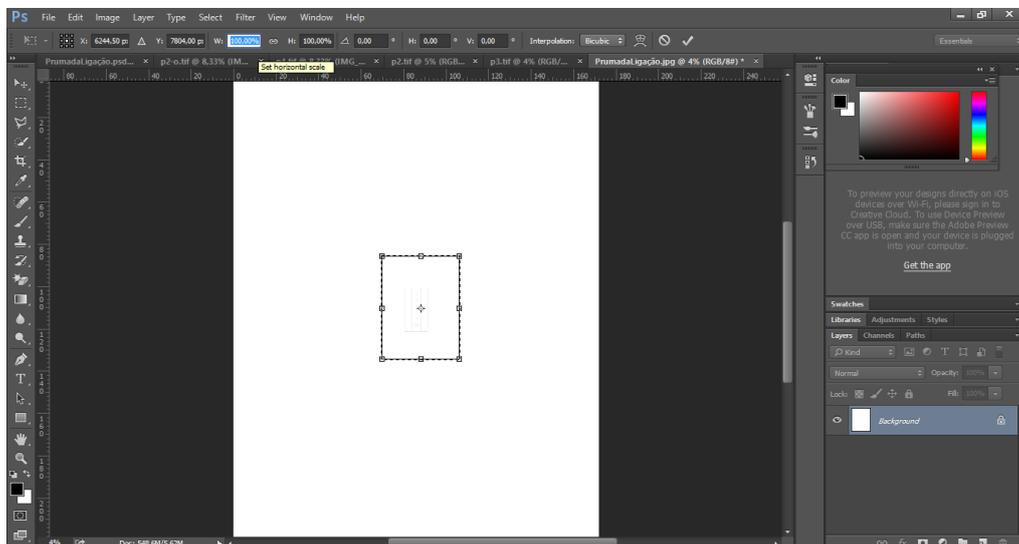
“Ctrl” + “-” = diminuir o zoom

a) File -> Open... (escolher o desenho) -> open

b) Menu superior -> Image -> Canvas Size

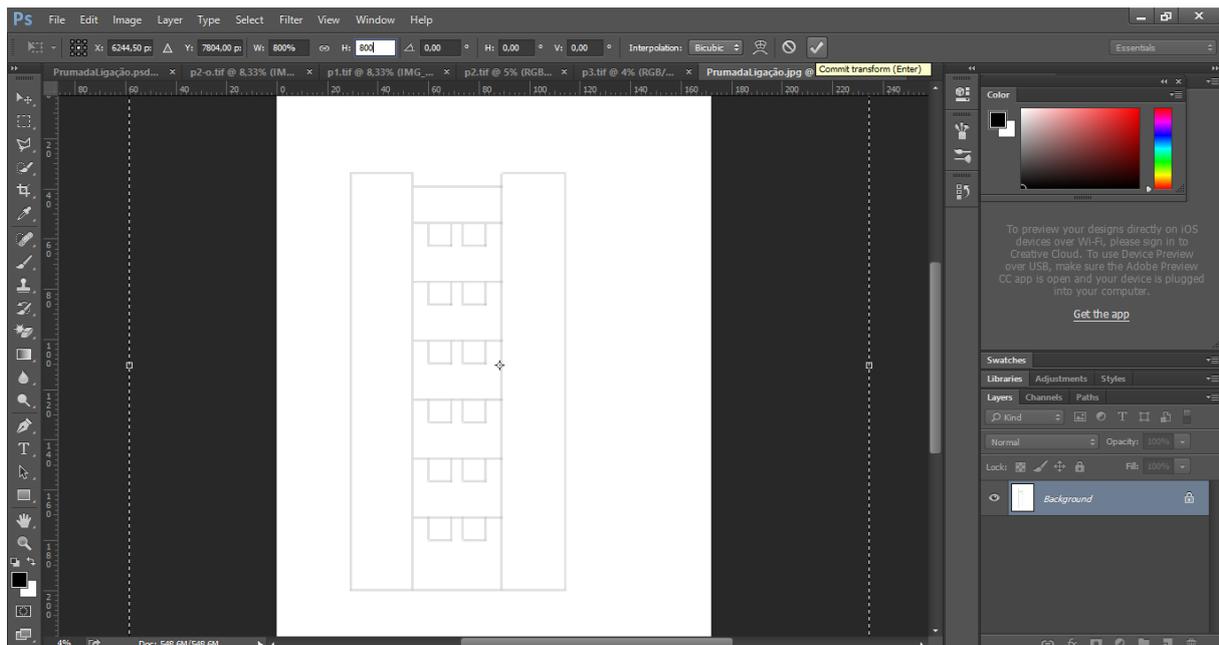


- c) Multiplicar por 10 as dimensões (sugestão, mas pode ser qualquer valor) -> ok
- d) Ctrl – (para tirar o zoom). O desenho ficou bem pequeno em relação ao fundo
- e) Selecionar o croqui
- f) Menu superior -> Edit -> Transform -> Scale



- g) Mudar a proporção do W e do H até centralizar na folha (no exemplo coloquei 800%).

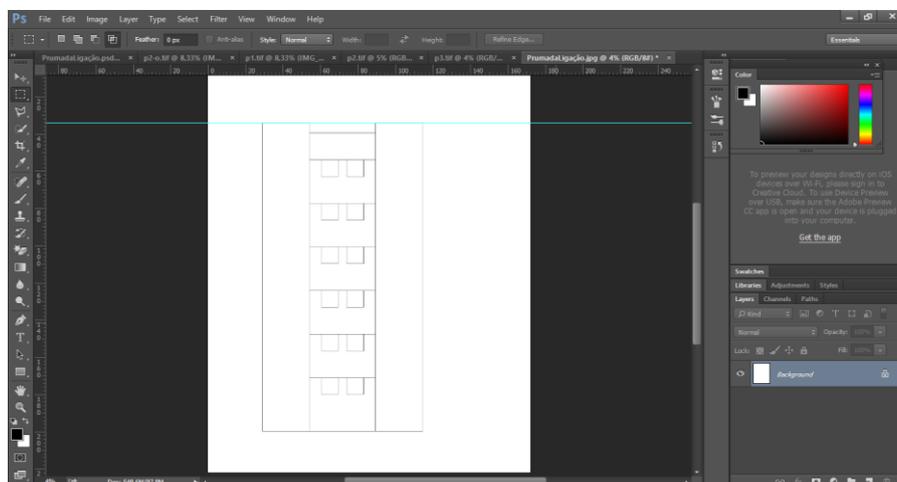
E apertar na seta .



h) File -> save

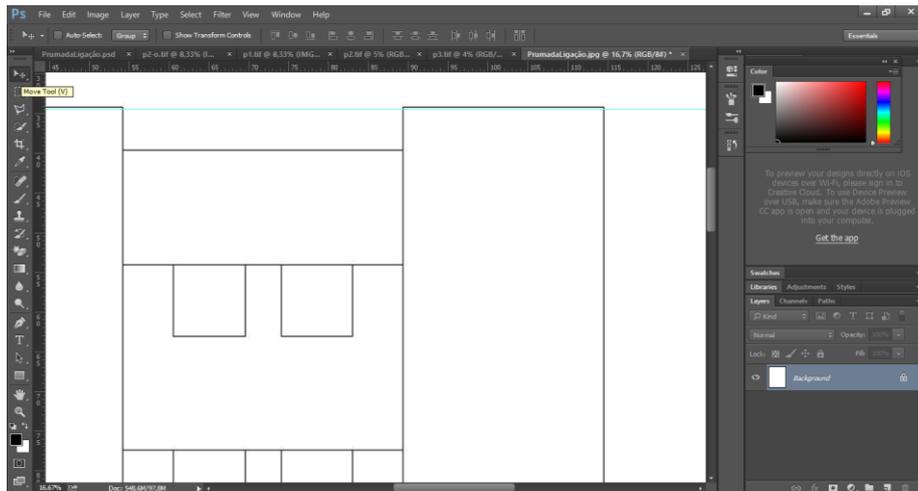
3. PREPARANDO PARA SOBREPOR AS IMAGENS

- a) Se o croqui não estiver aberto, vá em File -> Open -> (selecione o arquivo com o croqui)
- b) Habilitar a régua: Menu superior -> View -> Ruler
- c) Criar guias para ajudar no posicionamento correto das imagens
- d) Clicar na régua e sem soltar, arrastar até a posição que se quer (isto é, nas linhas do croqui)
- e) Ao soltar, a linha ficará com a cor ciano.



f) Se a guia ficou na posição errada:

Aumentar o zoom (Ctrl +)



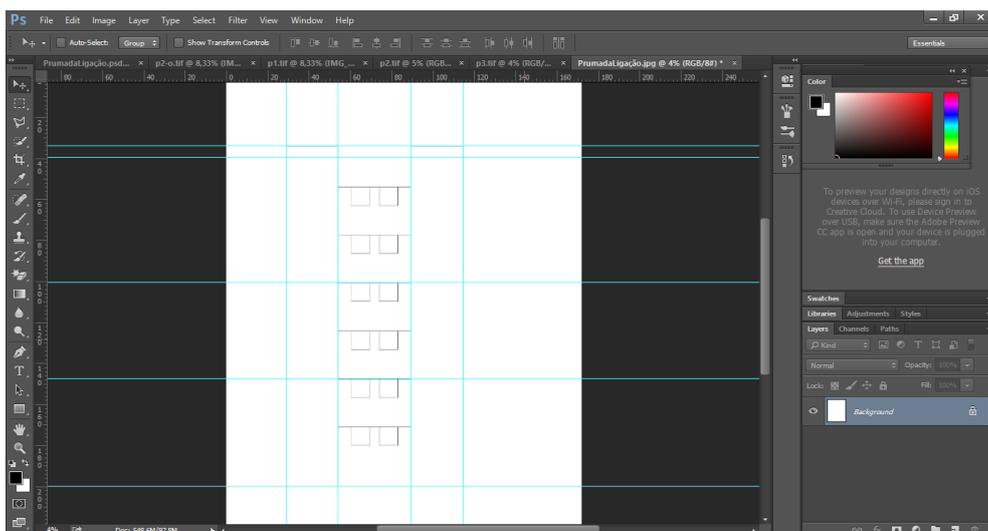
Clicar na move tool



Clicar na linha e arrastar até a posição certa.

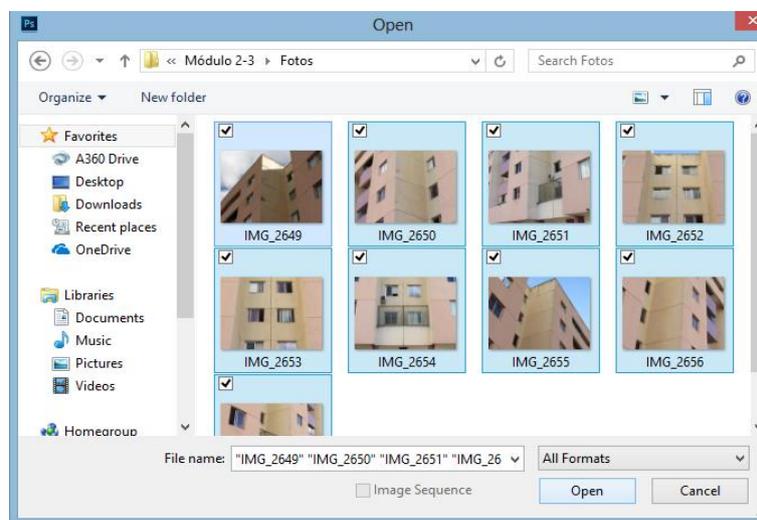
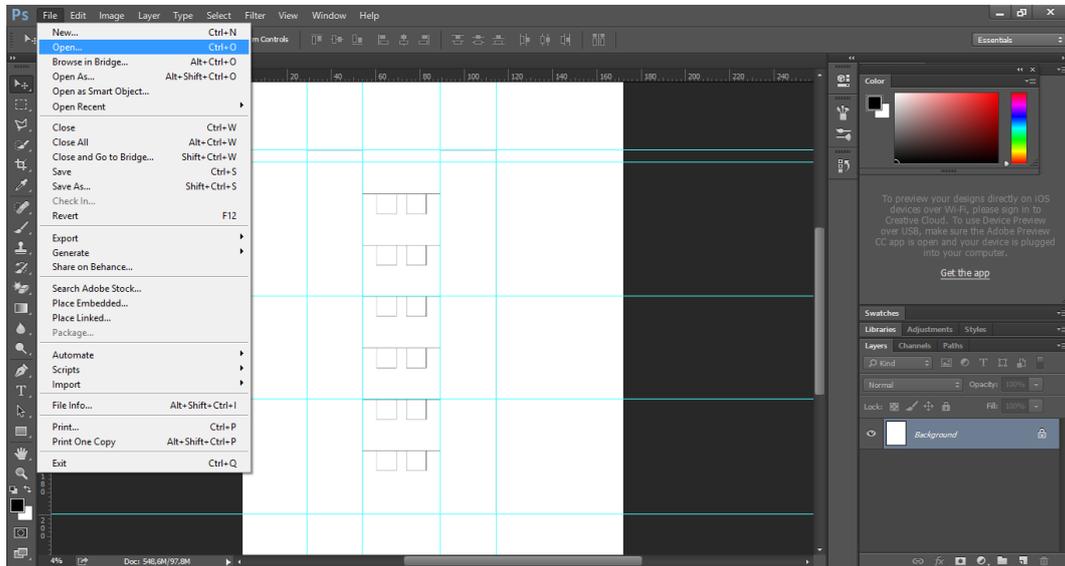
É aconselhável dar o zoom e garantir que as linhas guia estejam na posição certa, pois elas que servirão de base para o posicionamento das imagens.

g) Continuar até que se obtenham linhas suficientes para o posicionamento nas imagens. (Colocar só a quantidade suficiente de linhas pois elas em excesso podem acabar atrapalhando. No exemplo, como eu tinha 3 imagens, já parti o edifício em 3 nas posições corretas para encaixar cada foto).

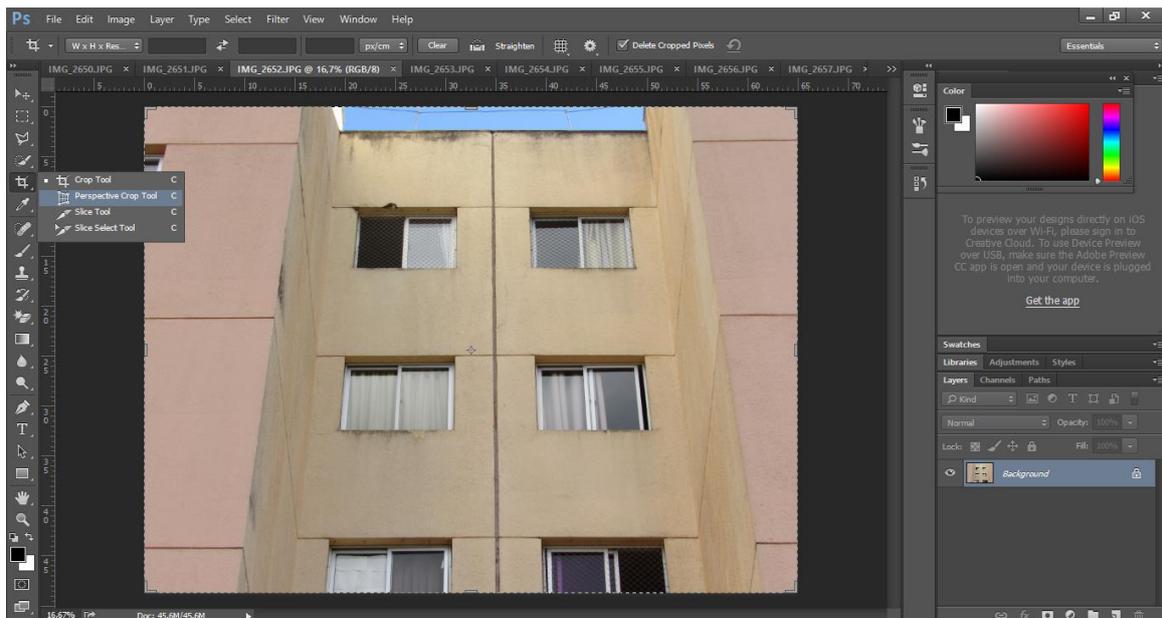


4. AJUSTANDO AS FOTOS

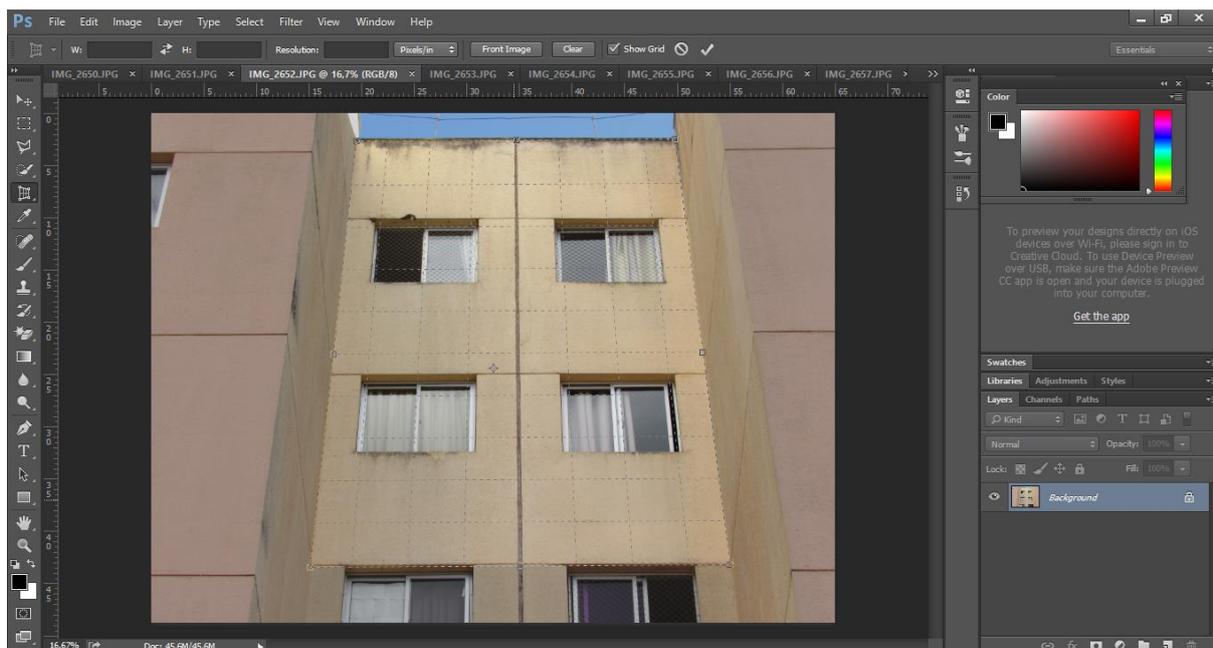
- a) Menu superior -> File -> Open -> Selecionar todas as fotos que irão compor a amostra -> Open



- b) Menu esquerdo →  → Perspective crop tool



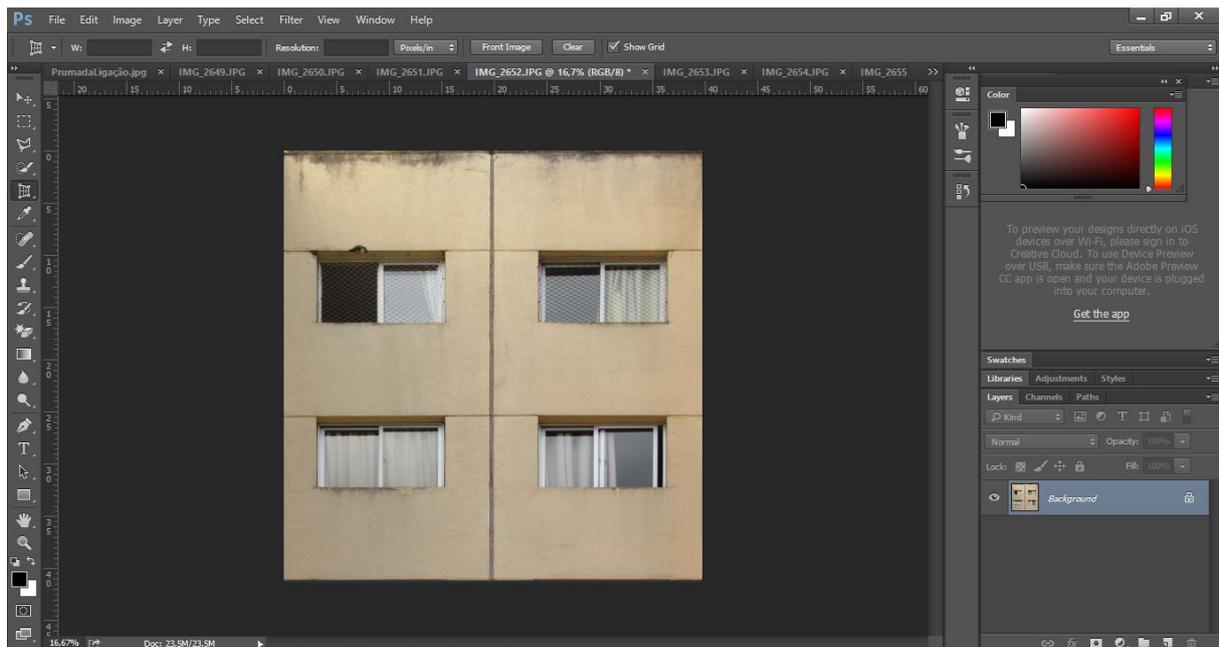
c) Arrastar os quatro cantos da janela e colocar nas quinças do desenho (parte que se quer cortar)



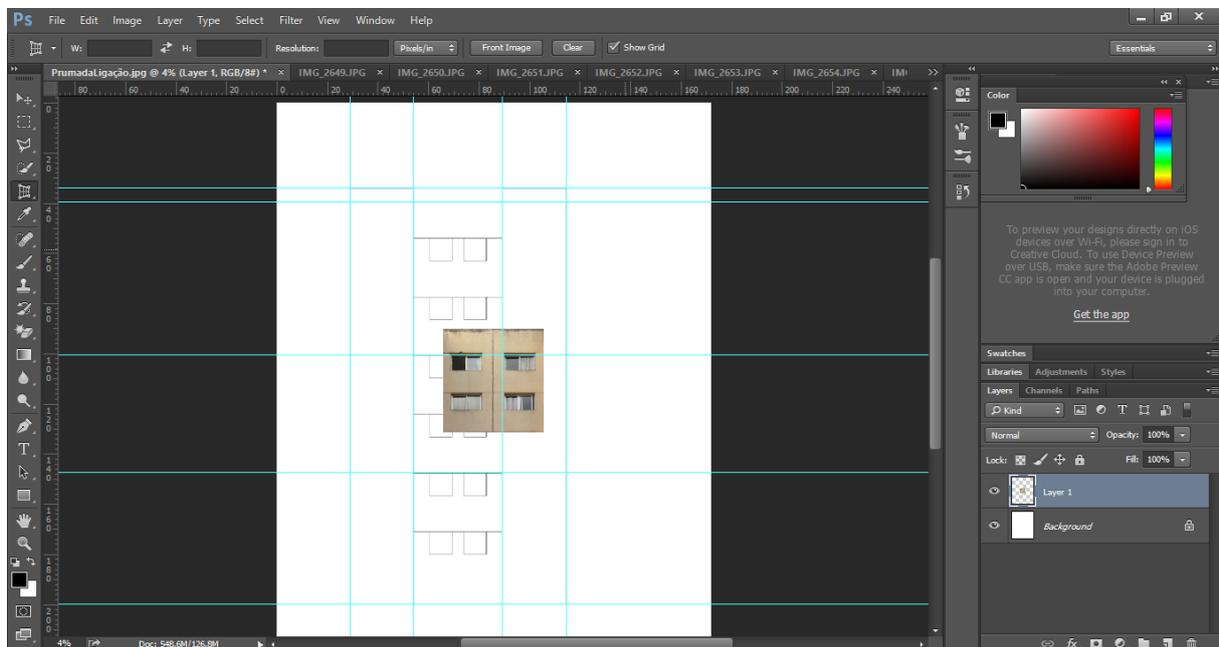
d) Dar zoom e ajustar nas extremidades.

e) Confirmar a seleção



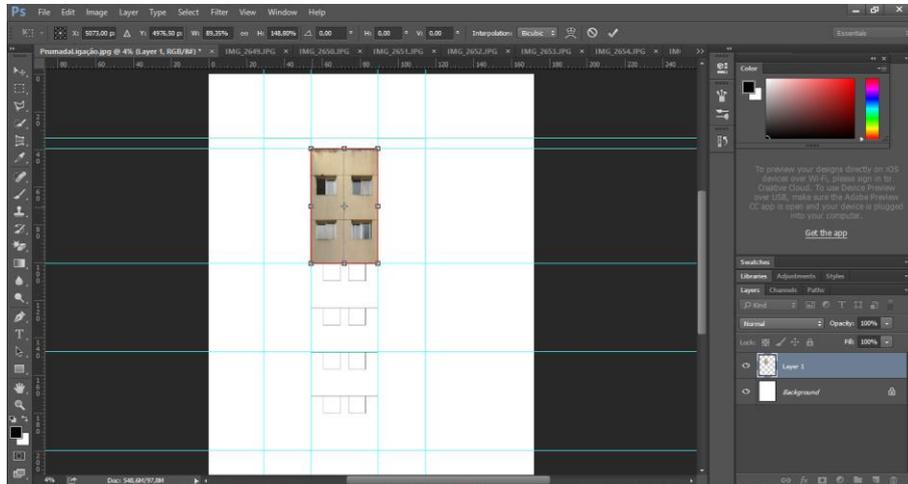


- f) Selecionar a imagem (Ctrl + A) ou Menu superior → Select -> All
- g) Menu superior → Edit → Copy
- h) Abrir página (aba) com o croqui e colar a imagem

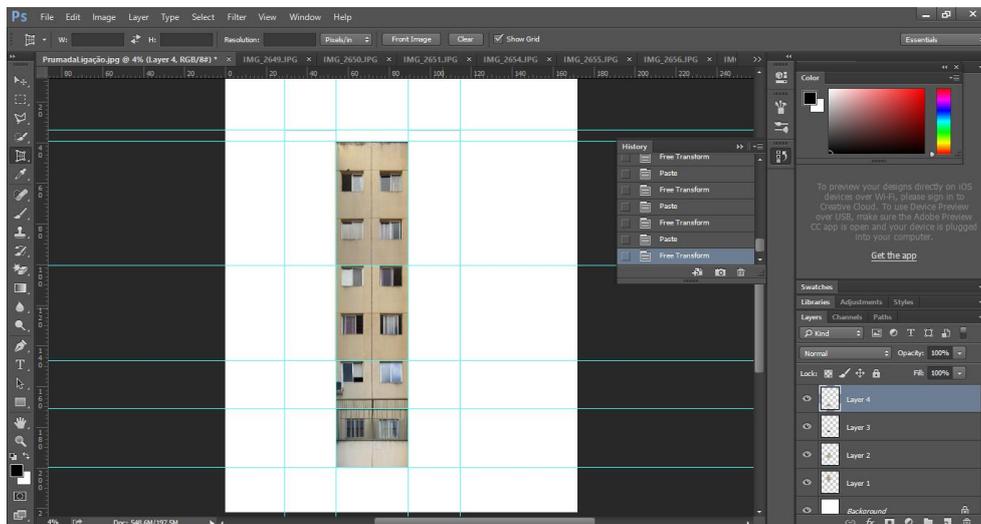


- i) Menu superior → Edit -> Transform -> Scale

j) Clicar e arrastar para a posição correta -> Clicar nas bordas com o botão direito, pressionar Ctrl e com o mouse e Ctrl pressionados, arrastar a borda até encontrar a guia, soltar quando ficar vermelha. Repetir o mesmo para todas as bordas.



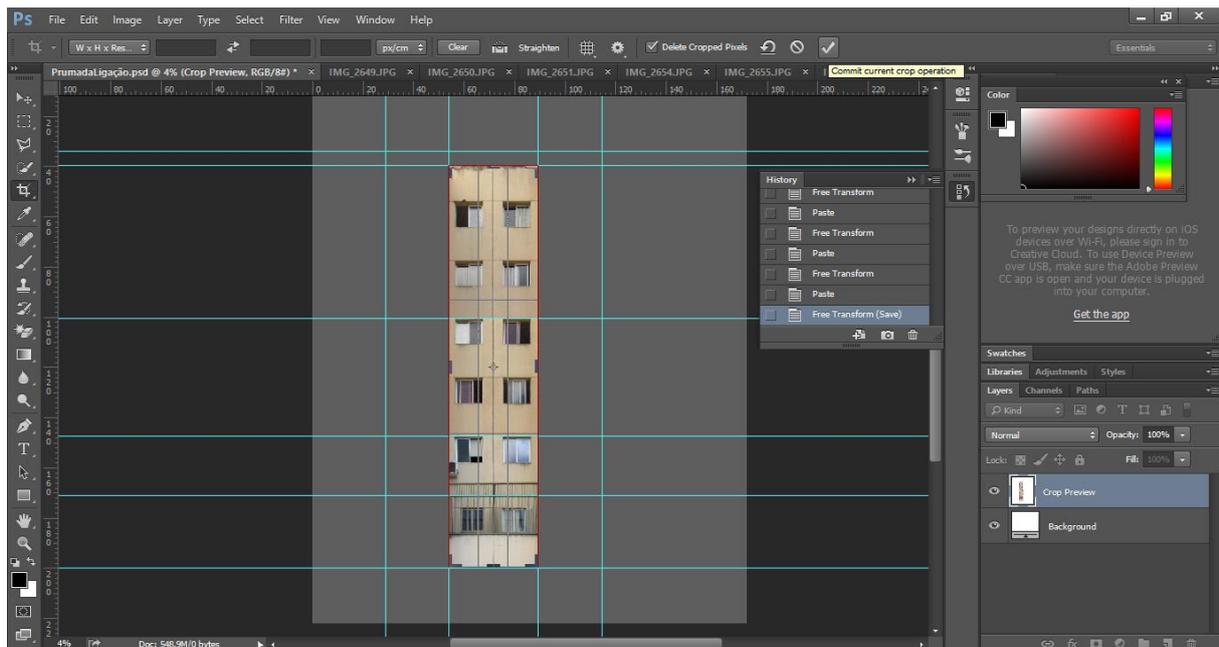
k) Repetir o mesmo procedimento para as outras fotos



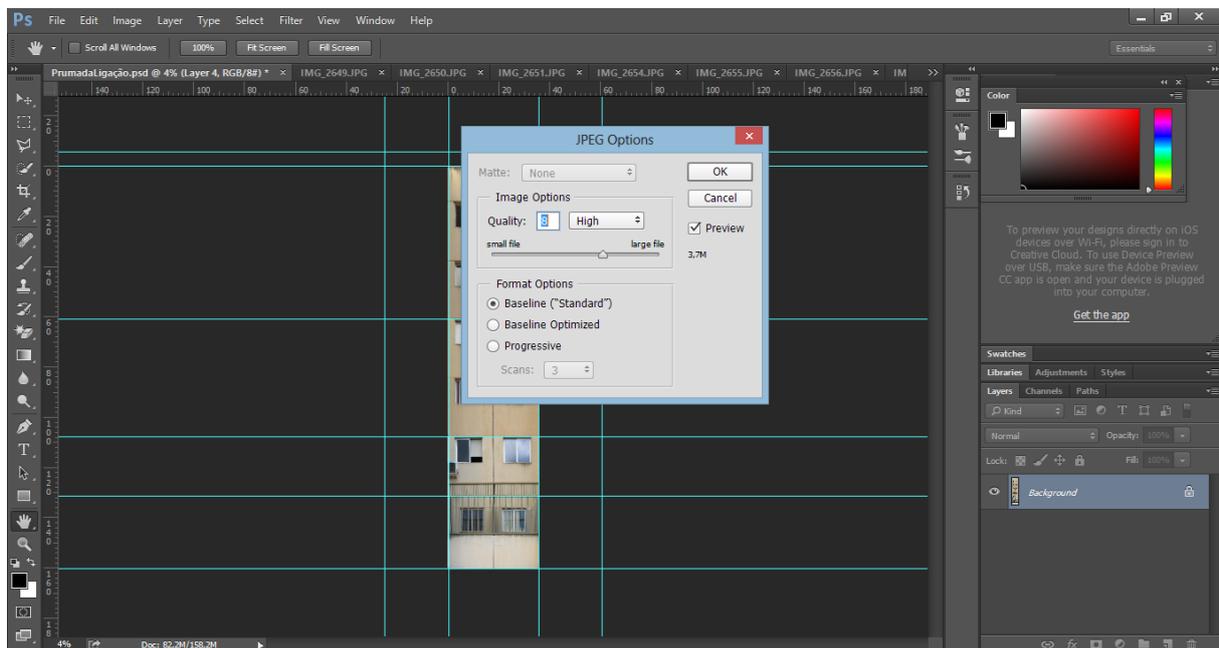
5. SALVANDO A AMOSTRA

a) Juntar as camadas: Menu superior → Layer -> Merge Visible

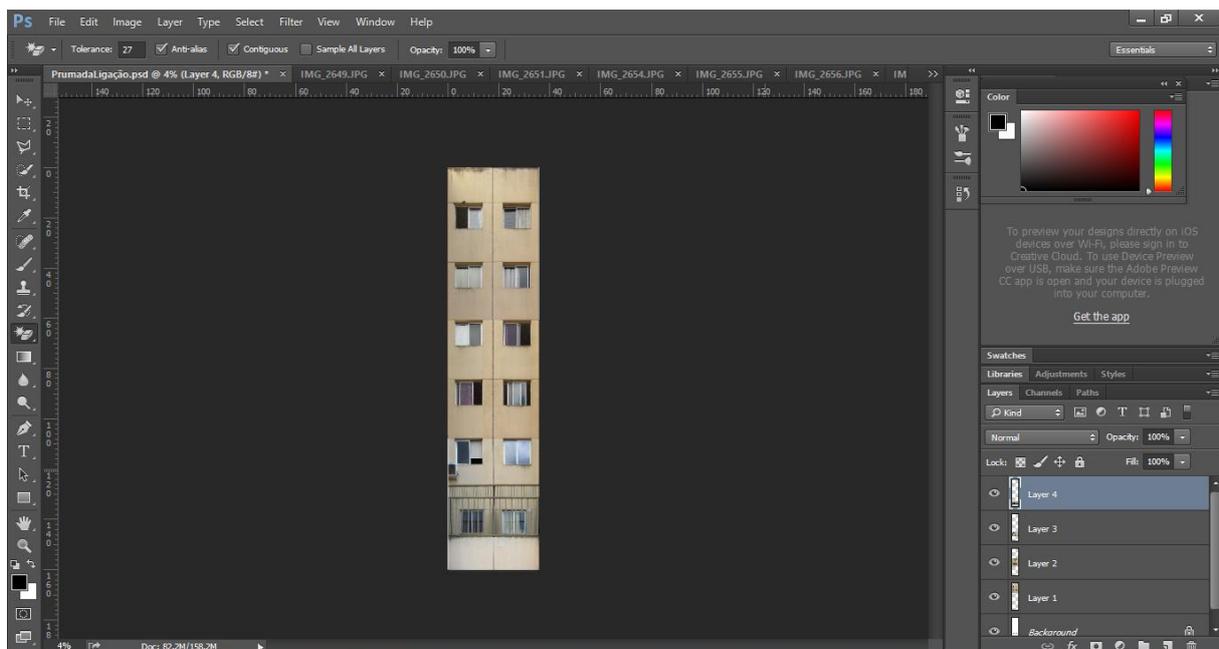
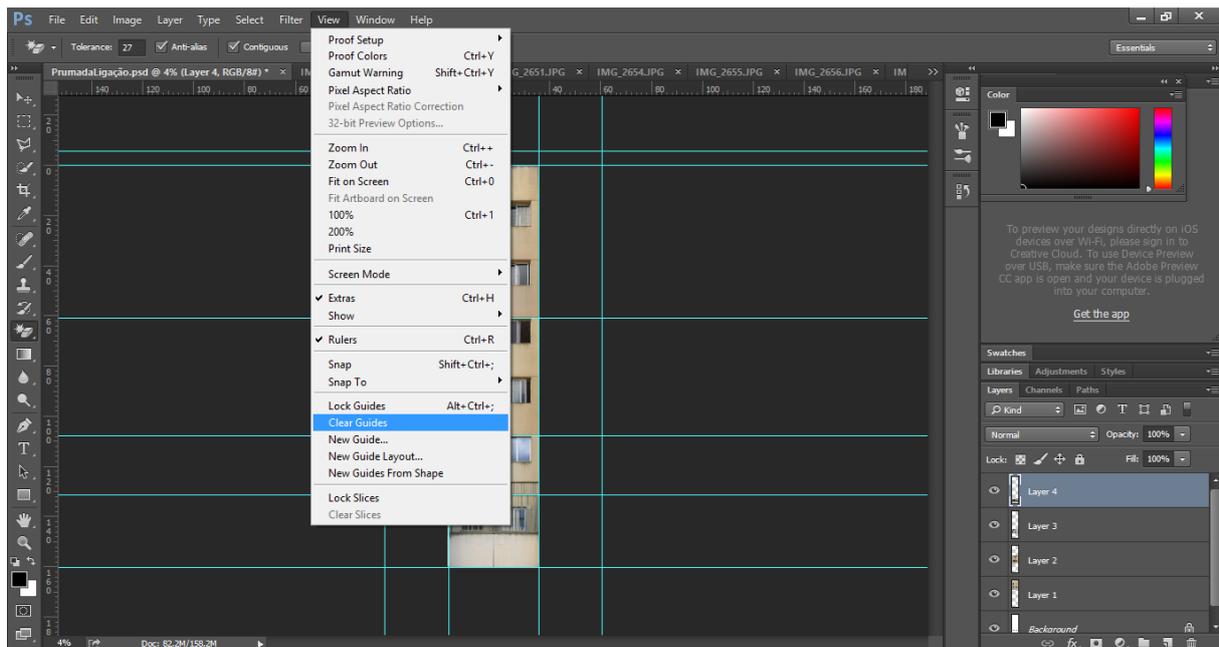
b) Crop tool 



- c) Salvar como JPEG
- d) Escolher alta resolução



- e) Como tirar as guias: View -> Clear Guides



f) Agora o panorama ortogonalizado está montado e pronto para análise.

ANEXO B – AMOSTRAS DOS EDIFÍCIOS A1, A2 e A3



Figura B.1 – Edifício A1 – Prumada leste (parte 1)

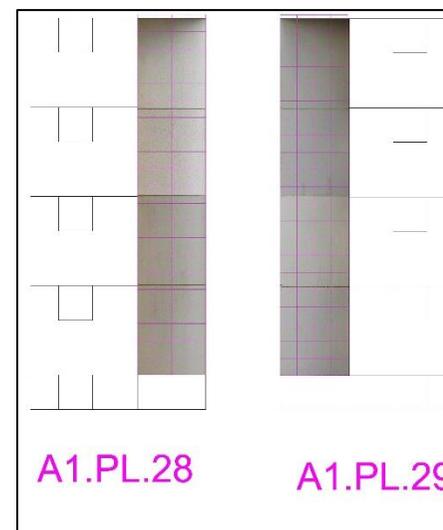


Figura B.2 – Edifício A1 – Prumada leste (parte 2)



Figura B.3 – Edifício A1 – Prumada oeste (parte 1)



Figura B.4 – Edifício A1 – Prumada oeste (parte 2)

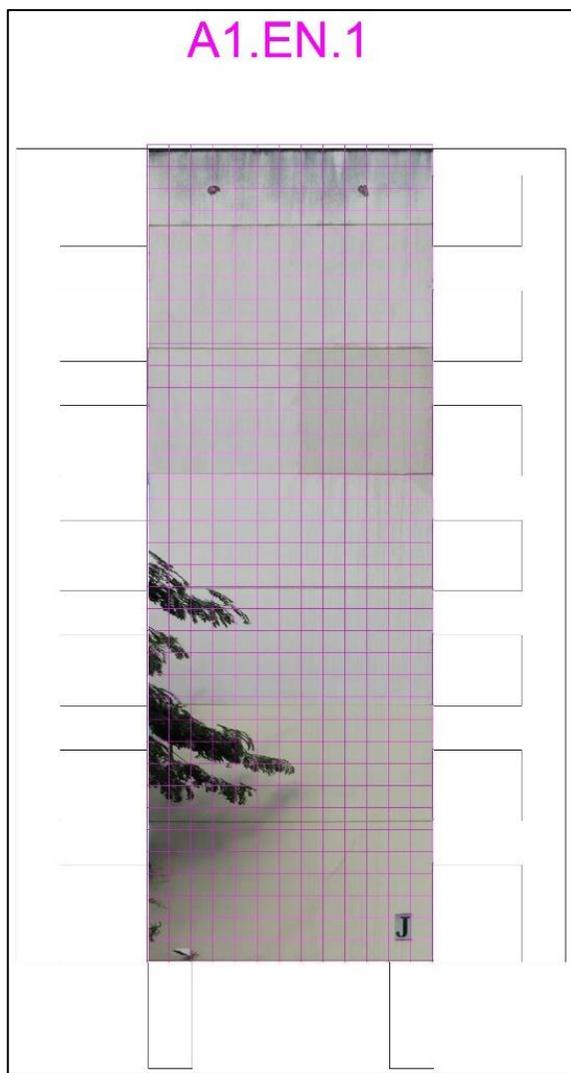


Figura B.5 – Edifício A1 – Empena norte

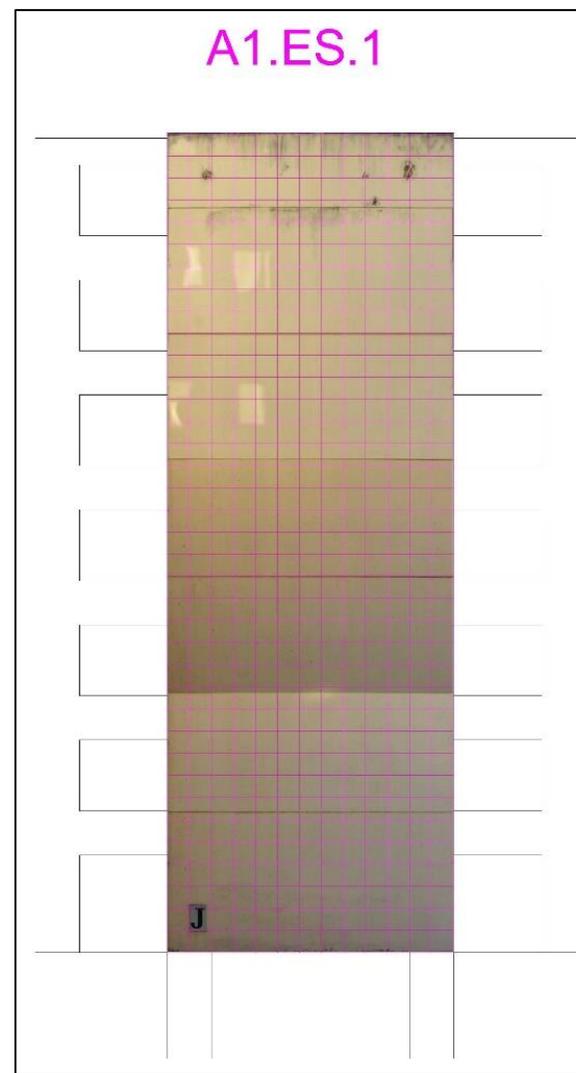


Figura B.6 – Edifício A1 – Empena sul

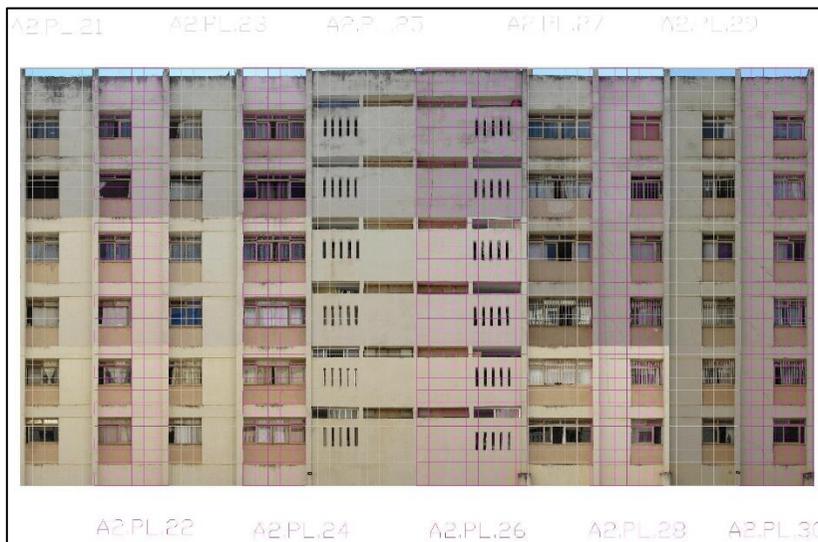
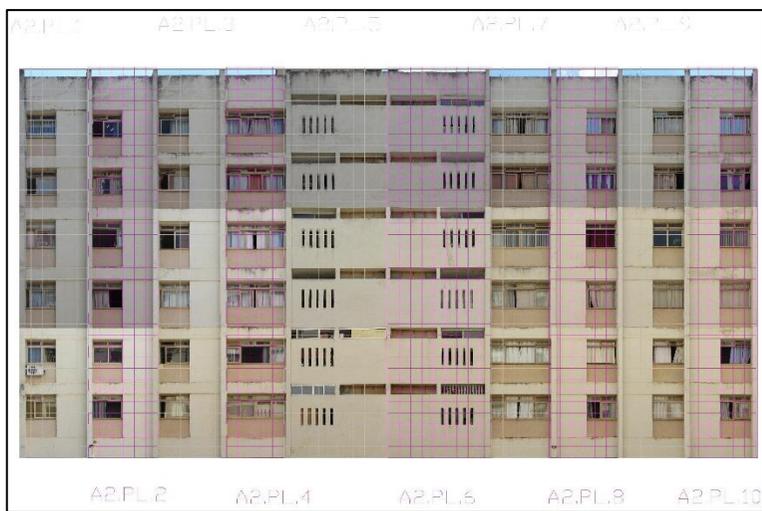


Figura B.7 – Edifício A2 – Prumada leste



Figura B.8 – Edifício A2 – Prumada oeste

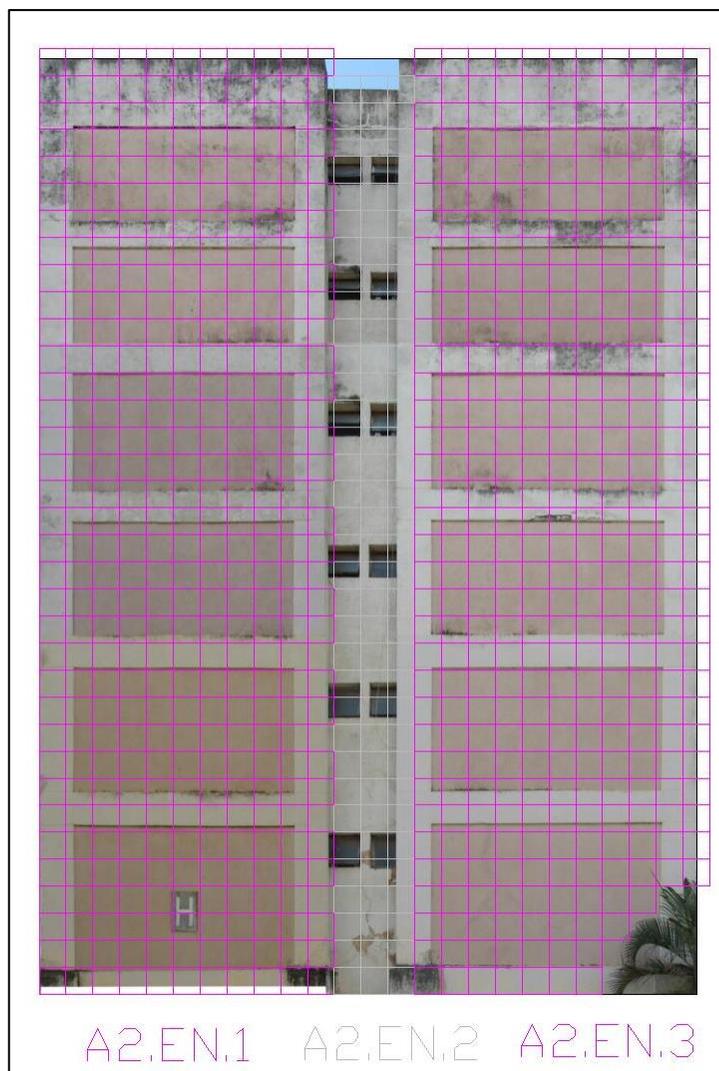


Figura B.9 – Edifício A2 – Empena norte

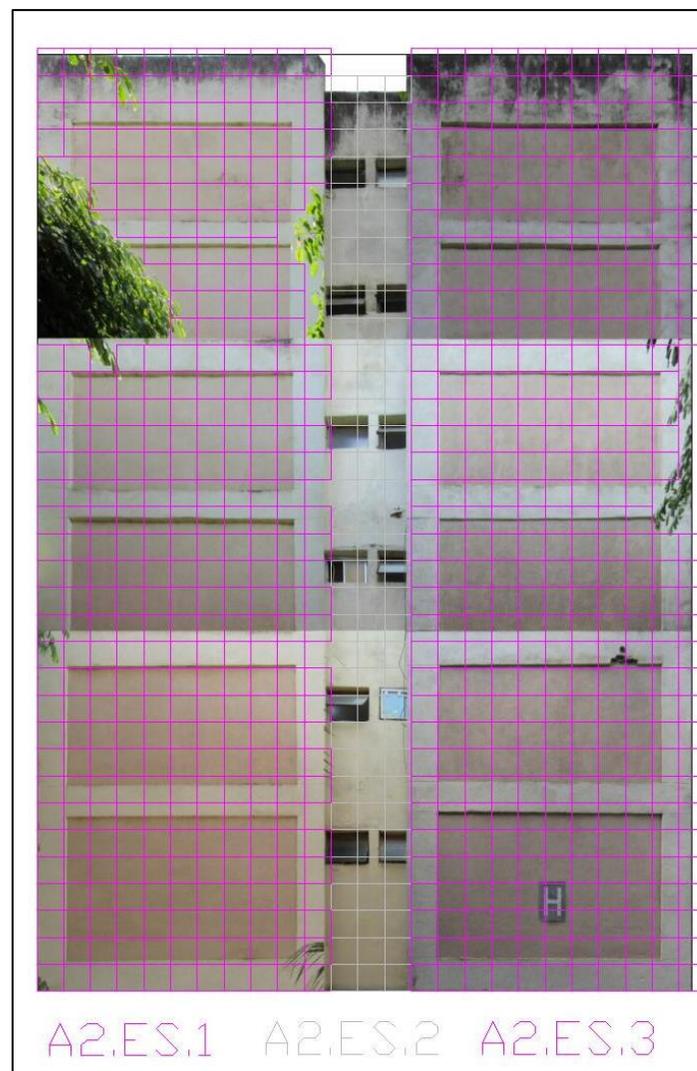


Figura B.10 -Edifício A2 – Empena sul



Figura B. 11 – Edifício A3 – Prumada leste

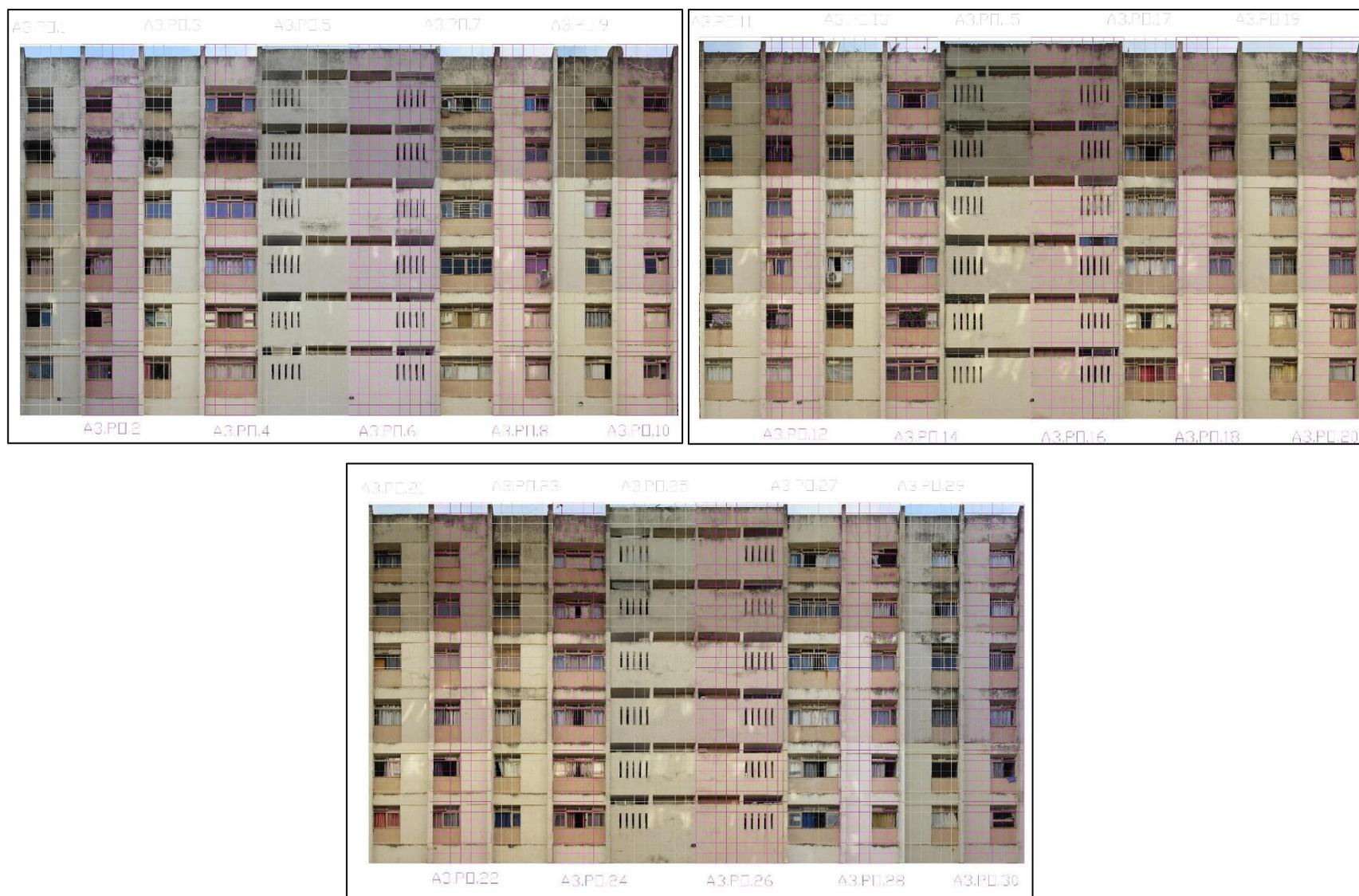


Figura B. 12 – Edifício A3 – Prumada oeste



Figura B.13 – Edifício A3 – Empena norte

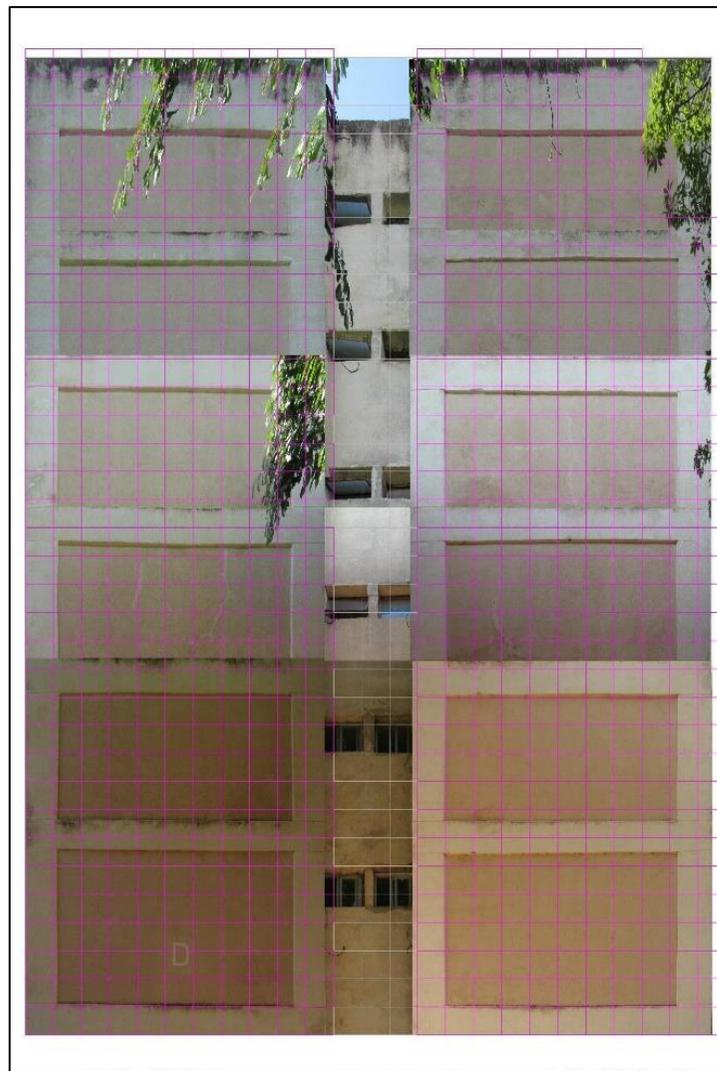


Figura B.14 – Edifício A3 – Empena sul