

**ESTUDO DA VIDA ÚTIL E DEGRADAÇÃO DE FACHADAS  
EM ARGAMASSA A PARTIR DA INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**DANILO GONÇALVES DOS SANTOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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**

**ESTUDO DA VIDA ÚTIL E DEGRADAÇÃO DE FACHADAS  
EM ARGAMASSA A PARTIR DA INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**DANILO GONÇALVES DOS SANTOS**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

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

**BRASÍLIA/DF  
DEZEMBRO – 2018**

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

**ESTUDO DA VIDA ÚTIL E DEGRADAÇÃO DE FACHADAS  
EM ARGAMASSA A PARTIR DA INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**DANILO GONÇALVES DOS SANTOS**

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

APROVADA POR:



---

Prof. Elton Bauer, Doutor. (PECC/UnB)  
(ORIENTADOR)



---

Prof. João Henrique da Silva Rego, Doutor. (PECC/UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)



---

Prof.<sup>a</sup> Vanda Alice Garcia Zanoni, Doutora. (FAU/UnB)  
(EXAMINADORA EXTERNA)

BRASÍLIA/DF, 6 DE DEZEMBRO DE 2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, DANILO GONÇALVES

Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. [Distrito Federal] 2018.

xix, 136p., 210 x 297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachadas  
3. Durabilidade  
5. Desempenho  
I. ENC/FT/UnB

2. Argamassa  
4. Vida útil  
6. Degradação

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS. D. G. (2018). Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 27A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p.

## CESSÃO DE DIREITOS

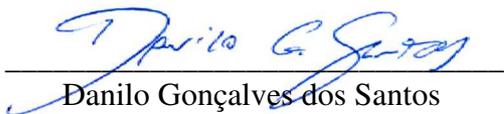
AUTOR: Danilo Gonçalves dos Santos

TÍTULO: Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.

GRAU: Mestre

ANO: 2018

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



---

Daniilo Gonçalves dos Santos

Rua Di Cavalcante, Qd.02, Lt. 25, Cond. Belas Artes

CEP: 75075-738 Anápolis/GO, Brasil.

E-mail: engdanilo@live.com

*Dedico este trabalho à Deus e minha família.*

*“E construiu o seu santuário durável como os céus e firme como a terra que fundou para sempre.”*

*(Salmos 78:69)*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me guia e protege. Ter me proporcionado o dom da vida e pelas oportunidades infinitas de aprendizado.

À minha esposa, por ser a extensão das minhas forças nos momentos mais difíceis. Seu amor torna a caminhada mais leve e feliz. Aos meus pais, meu mais profundo agradecimento por tudo que me ensinaram a ser, pelo exemplo de fé e sabedoria que ilumina meu caminho.

Ao meu orientador, Elton Bauer, por todo tempo dedicado ao meu trabalho, pelo conhecimento compartilhado e paciência. Você sempre será lembrado ao longo de toda minha trajetória profissional.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília. E aos colegas do PECC que se tornaram amigos.

À Universidade de Brasília e ao PECC por ter me concedido a oportunidade de realizar o mestrado. Ao Laboratório de Ensaio de Materiais da UnB pela disponibilidade de informações para a elaboração desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, na forma de bolsa de mestrado durante a elaboração da dissertação.

## **RESUMO**

### **ESTUDO DA VIDA ÚTIL E DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA A PARTIR DA INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**Autor: Danilo Gonçalves dos Santos**

**Orientador: Elton Bauer**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, novembro de 2018**

A fachada é a primeira barreira protetora contra diversos agentes que, ao longo da vida útil da edificação, ocasionam patologias motivando sua degradação. Visando normatizar e estabelecer requisitos mínimos de desempenho dos diversos sistemas das edificações foi desenvolvida a norma ABNT NBR 15575-1: 2013, dentre os quais, a durabilidade é um dos principais requisitos constituídos. Neste sentido, muitos estudos surgiram objetivando mensurar a degradação, de forma a quantificar os danos e prever a vida útil da edificação. A presente dissertação tem como objetivo estudar e mensurar a degradação das fachadas, propondo uma metodologia que quantifique a degradação das fachadas com revestimento em argamassa. A metodologia proposta consiste na sistematização e aplicação de inspeções dos edifícios e mapeamento de suas patologias. Sendo determinados, por meio de matrizes de correlação, pesos para estas patologias de forma a estabelecer índices que permitam a quantificação da degradação empregando o cálculo do fator geral de danos (FGD) descrito pelo método de mensuração da degradação (MMD). Com os resultados obtidos foi possível estabelecer critérios, abordando níveis condição das amostras e a importância das patologias, de forma a definir e mensurar a degradação dos edifícios estudados. Os resultados demonstraram a influência da idade e da orientação cardinal na incidência dos danos, permitindo a estabelecer as curvas de degradação demonstrando o padrão da deterioração ao longo da vida útil das fachadas. A partir da metodologia proposta para o cálculo do FGD é possível mensurar a degradação dos edifícios, sendo evidenciado, como principais conclusões, que o comportamento da degradação evolui conforme a idade das amostras bem como pela incidência de agentes climáticos na fachada.

**Palavras-Chave:** Fachadas; Argamassa; Durabilidade; Vida útil; Desempenho; Degradação.

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF SERVICE LIFE AND DEGRADATION OF MORTAR FACADES FROM THE BUILDINGS INSPECTION**

The façade is the first protective barrier against several agents that, throughout the service life of the building, cause pathologies motivating its degradation. Aiming to regulate and establish minimum performance requirements of the various systems of buildings was developed the standard ABNT NBR 15575-1:2013, among which, durability is one of the main requirements constituted. In this sense, many studies have emerged aiming to measure the degradation, in order to quantify the damage and predict the useful life of the building. This dissertation aims to study and measure the degradation of the facades, proposing a methodology that quantify the degradation of the facades with mortar coating. The proposed methodology consists in the systematization and application of buildings inspections and mapping of their pathologies. Weights are determined, by means of correlation matrices, for these pathologies in order to establish the indexes that allow the quantification of the degradation using the calculation of the general damage factor (FGD) described by the method of degradation measurement (MMD). With the results obtained it was possible to establish criteria, addressing levels of samples conditions and the importance of pathologies, in order to define and measure the degradation of the studied buildings. The results demonstrated the influence of age and cardinal orientation on the incidence of damages, allowing to establish the degradation curves demonstrating the deterioration pattern along the useful life of the façades. A partir da metodologia proposta para o cálculo do FGD é possível mensurar a degradação dos edifícios, sendo evidenciado, como principais conclusões, que o comportamento da degradação evolui conforme a idade das amostras bem como pela incidência de agentes climáticos na fachada.

**Key-Words:** Facades; Mortar; Durability; Live service; Performance; Degradation; Coating systems.

## SUMÁRIO

1.	IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	1
1.1	MOTIVAÇÃO DA PESQUISA .....	2
1.2	OBJETIVOS .....	4
1.2.1	Objetivo Geral .....	4
1.2.2	Objetivos Específicos .....	4
2.	DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DAS FACHADAS .....	5
2.1	O SISTEMA DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA .....	5
2.2	DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS .....	8
2.2.1	Agentes de degradação .....	12
2.2.2	Mecanismos de degradação das fachadas.....	14
2.3	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL.....	16
2.3.1	Métodos de previsão da vida útil.....	19
2.3.2	Método de Mensuração da Degradação (MMD).....	21
3.	PATOLOGIAS DAS FACHADAS .....	29
3.1	CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS .....	30
3.2	DESIGNAÇÃO DAS PATOLOGIAS .....	32
3.2.1	Descolamento .....	32
3.2.2	Fissuras .....	34
3.2.3	Pulverulência .....	36
3.2.4	Eflorescência .....	38
3.2.5	Manchas.....	40
3.2.6	Patologias das pinturas .....	42
3.3	CORRELAÇÃO ENTRE CAUSAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	43
3.3.1	Matriz inter-patologias .....	44
4.	METODOLOGIA.....	48
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	50
4.1.1	Caracterização e classificação das patologias .....	51

4.1.2	Coleta de dados e classificação das amostras .....	52
4.1.3	Mapeamento das patologias.....	56
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS .....	60
4.2.1	Quantificação das patologias .....	60
4.2.2	Classificação das regiões .....	61
4.3	MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO.....	62
4.3.1	Calculo e análise do Fator de Danos (FD).....	62
4.3.2	Proposição e aplicação do Fator Geral de Danos (FGD).....	62
4.4	ANÁLISE COMPLEMENTAR .....	64
4.4.1	Matriz inter-patologias .....	64
4.4.2	Estudo dos danos nas regiões .....	64
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
5.1	CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS QUANTO ÀS SUAS GRAVIDADES... 65	
5.1.1	Correlação entre causas prováveis / manifestações patológicas.....	66
5.1.2	Correlação entre manifestações patológicas / queda de desempenho .....	69
5.2	ANÁLISE DA EXTENSÃO DA DEGRADAÇÃO.....	71
5.2.1	Incidência das patologias.....	71
5.2.2	Investigação da orientação cardeal .....	72
5.3	ANÁLISE DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO .....	73
5.3.1	Proposição para o cálculo do FGD .....	73
5.3.2	Análise do FGD .....	79
5.4	ANÁLISE COMPLEMENTAR .....	88
5.4.1	Matriz inter-patologias .....	88
5.4.2	Análise do $FD_R$ nas regiões da fachada.....	89
5.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	91
6.	CONCLUSÕES .....	95
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	98

7. REFERÊNCIAS .....	99
ANEXO 1 – Matriz de causas prováveis / manifestações patológicas abordadas neste estudo .....	110
ANEXO 2 – Matriz da queda de desempenho / manifestações patológicas abordadas neste estudo.....	114
ANEXO 3 – Mapeamento das patologias de acordo com os edifícios abordados .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Camadas do revestimento em argamassa (adaptado de ABCP, 2002).....	6
Figura 2.2– Curva de degradação do Fator Geral de Danos em função da idade (SOUZA, 2016).....	9
Figura 2.3 – Estudo da degradação dos edifícios (adaptado de Bauer, 2016).....	11
Figura 2.4 – Ação de alguns agentes de degradação sobre as fachadas (BAUER, 1987).....	12
Figura 2.5 – Desempenho ao longo do tempo (NBR 15575-1: 2008).....	18
Figura 2.6 – Relação entre diferentes tipos de métodos de previsão de vida útil (Adaptado de Hovde, 2004) .....	20
Figura 2.7 – Exemplo da classificação das regiões em um edifício hipotético (Fonte: PINHEIRO, 2016).....	25
Figura 3.1 – Descolamento do revestimento devido a (A) camada muito espessa do revestimento, (B) falta de preparo do substrato, (C) baixo consumo de aglomerantes (Fonte: Banco de imagens Bauer (2018) .....	34
Figura 3.2 – Configuração das fissuras de acordo com suas principais causas para revestimentos de edifícios em Brasília-DF: (A) falta de vergas e contravergas; (B) variações térmicas; e (C) deficiência nas ligações dos subsistemas.....	36
Figura 3.3 – Ocorrência de pulverulência em revestimento de argamassa (A) ocasionada por ascensão capilar da água do solo e (B) por infiltração da água da chuva nas fissuras .....	37
Figura 3.4 – Exemplos da manifestação de eflorescência em edifícios .....	40
Figura 3.5 – Principais tipos de manchas em fachadas: (A) sujidade; (B) umidade .....	41
Figura 3.6 – Falhas de destacamentos, fissuras e bolhas em pinturas sobre argamassa.....	42
Figura 3.7 – Exemplo de aplicação da Equação 3.2 .....	47
Figura 4.1 – Esquema do procedimento metodológico proposto .....	49
Figura 4.2 – Edifícios selecionados para esta pesquisa: (A) edifícios 1 e 2; (B) edifícios 3, 4 e 5; e (C) edifício 6 (Adaptado de Google Maps) .....	51
Figura 4.3 – Identificação da prumada e empena de um edifício.....	53
Figura 4.4 – Segunda etapa da coleta de dados. (A) Imagem da fachada; (B) Desenho esquemático da fachada com divisão dos enquadramentos para cada imagem.....	54
Figura 4.5 – Esquema de obtenção das imagens de um edifício .....	55
Figura 4.6 – Fotos de uma fachada, obtidas em horários diferentes. (A) Foto sem incidência direta do sol; e (B) Foto com incidência solar direta.....	55
Figura 4.7 – Exemplo da divisão de amostras de uma fachada.....	56

Figura 4.8 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras (Silva, 2014).....	58
Figura 4.9 – Fachada ortogonalizada de um edifício.....	59
Figura 4.10 – Mapeamento das manifestações patológicas.....	60
Figura 4.11 – Representação do critério de sobreposição da malha em uma amostra .....	61
Figura 5.1 – Ocorrência das patologias nas amostras de estudo. ....	71
Figura 5.2 – Valor médio do FD das patologias de acordo com as orientações cardeais.....	72
Figura 5.3 – Histogramas das patologias do fator de danos (FD) das patologias: (A) De.A; (B) Fi.A; (C) Pu.A; (D) Ef.A; (E) Ma.A; (F) De.P; (G) Fi.P; e (H) Bo.P.....	74
(Continuação) Figura 5.3 – Histogramas das patologias do fator de danos (FD) das patologias: (A) De.A; (B) Fi.A; (C) Pu.A; (D) Ef.A; (E) Ma.A; (F) De.P; (G) Fi.P; e (H) Bo.P.....	75
Figura 5.4 – Comportamento da degradação (FD x FGD) e limites entre os níveis de degradação. ....	81
Figura 5.5 – Amostras selecionadas pertencentes à cada nível de degradação: (A) A1.PL3 - nível 1; (B) A3.PO7 - nível 2; (C) A4.PN3 - nível 3; e (D) A6.PS3 - nível 4 .....	82
Figura 5.6 – Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (FGD x Idade).....	84
Figura 5.7 – Resultados da simulação higrotérmica: (A) Radiação solar direta média [ $W/m^2h$ ]; (B) Temperatura média da argamassa exterior [ $^{\circ}C$ ]; (C) Chuva dirigida acumulada mensal [ $L/m^2$ ]; e (D) Teor de umidade média da argamassa externa [ $Kg/m^2$ ].....	86
Figura 5.8 – Valor de referência do indicador geral de degradação.....	87
Figura 5.9 – Distribuição da incidência de danos ( $FD_R$ ) médio nas regiões da fachada.....	90
Figura 5.10 – Intensidade média da degradação nas regiões das fachadas ( $FD_{RC}$ ).....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Propriedades dos revestimentos em argamassa associados à possível ocorrência de patologias (adaptado de BAUER <i>et al.</i> , 2005) .....	8
Tabela 2.2 – Tipos de curvas de degradação (adaptado de Shohet <i>et al.</i> , 1999).....	10
Tabela 2.3 – Natureza dos agentes de degradação (BS ISO 15686-2, 2012 <i>apud</i> ISO 6241, 1984).....	13
Tabela 2.4 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM E632: 1996).....	14
Tabela 2.5 – Natureza, origem e mecanismos de degradação em fachadas com argamassa e pintura na região de Brasília-DF .....	15
Tabela 2.6 – Exigências do usuário (adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013).....	16
Tabela 2.7 – Vida útil de projeto (VUP) (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013).....	17
Tabela 2.8 – Variáveis de ponderação utilizados por Souza (2016) para revestimentos cerâmicos .....	28
Tabela 3.1 – Patologias conforme a camada manifestada .....	32
Tabela 3.2 – Principais causas da ocorrência de descolamento (Adaptado de SANTOS, 2017) .....	34
Tabela 3.3 – Principais causas de fissuração (Adaptado de SANTOS, 2017) .....	35
Tabela 3.4 – Principais causas da ocorrência de pulverulência.....	38
Tabela 3.5 – Principais causas da ocorrência de eflorescência .....	39
Tabela 3.6 – Principais causas da manifestação de manchas em fachadas (Adaptado de SANTOS, 2017) .....	41
Tabela 3.7 – Principais causas da ocorrência manifestações patológicas em pinturas.....	43
Tabela 3.8 – Matriz de correlação entre as manchas e causas possíveis (Adaptado de Flores-Colen <i>et al.</i> , 2005) .....	44
Tabela 3.9 – Exemplo da matriz de correlação inter-patologias .....	45
Tabela 4.1 – Classificação e denominação das patologias propostas.....	52
Tabela 4.2 – Relação das quantidades de amostras .....	57
Tabela 5.1 – Classificação das causas de patologias, de acordo com a etapa do ciclo de vida do revestimento .....	66
Tabela 5.2 – Matriz de correlação entre as causas prováveis / manifestações patológicas .....	67
Tabela 5.3 – Etapas para obtenção do indicador $I_c$ para as patologias abordadas.....	69
Tabela 5.4 – Matriz de correlação das patologias sobre a queda de desempenho.....	70
Tabela 5.5 – Valores de $FD_{Total}$ das patologias, de acordo com a frequência de ocorrência....	76
Tabela 5.6 – Critérios adotados dos níveis de condição de cada patologia.....	78

Tabela 5.7 – Resultado do $K_{cn}$ para as patologias estudadas.....	79
Tabela 5.8 – Constantes simuladas no cálculo do FGD, estabelecendo os limites dos níveis de degradação .....	80
Tabela 5.9 – Valores de referência dos indicadores de degradação .....	87
Tabela 5.10 – Matriz de correlação inter-patologias .....	88
Tabela 5.11 – Indicadores de importância relativa das patologias .....	92
Tabela 5.12 – $FD_{Médio}$ das patologias por orientação cardeal.....	93

## **1. IMPORTÂNCIA DO TEMA**

A estética da fachada define a primeira impressão que podemos ter de um edifício, podendo expressar características socioeconômicas, culturais e psicológicas de seus habitantes. Porém sua função vai muito além da estética; ela é a primeira barreira protetora da edificação contra as condições adversas do exterior, proporcionando também conforto higrotérmico, acústico e segurança aos seus usuários. Dentre os principais agentes que atuam sobre as fachadas podem-se citar radiação solar, chuva, umidade ascensional, além de trocas de calor e vapor entre a superfície e o ambiente.

A fachada contribui de forma significativa no desempenho do edifício, pois ela deve suportar e responder de forma satisfatória à ação destes agentes ao longo do tempo. Da mesma forma, os componentes empregados em sua construção são os principais responsáveis pelo desempenho apresentado frente aos agentes, pois eles devem resistir aos mais variados esforços e oferecer estanqueidade à água e aos gases. O desempenho pode ser entendido como o comportamento em uso de um edifício habitacional e dos sistemas que o compõem.

No Brasil, o revestimento em argamassa com acabamento de pintura é amplamente utilizado nas fachadas, sendo mais difundido nas edificações residenciais. Para Sabbatini (2008), um revestimento de argamassa deve apresentar um conjunto de propriedades específicas, para que cumpra as suas funções de forma adequada, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

A durabilidade, por exemplo, é uma importante propriedade que pertence ao estado endurecido e é analisada durante o período de uso do revestimento, em relação ao desempenho diante das ações do meio externo com o decorrer do tempo. A espessura excessiva, a qualidade das argamassas, a proliferação de microrganismos e a falta de manutenção periódica afetam diretamente a durabilidade, causando a degradação das fachadas. Por outro lado, alguns aspectos como a correta escolha dos materiais utilizados, a correta execução de detalhes construtivos, o planejamento e a execução de manutenções preventivas influenciam a vida da edificação retardando seu envelhecimento (GASPAR, 2009).

Antes mesmo do final da obra e início da ocupação do edifício, a fachada, sujeita aos agentes atuantes, inicia seu processo de degradação. Este desgaste natural proporciona o surgimento de patologias como fissuração, descolamento, manchas, dentre outras que catalisam este processo de degradação. Este processo continua até que os componentes ou materiais não sejam capazes

de responder às atividades para as quais foram projetadas. Este tempo é chamado vida útil do edifício. A norma ABNT NBR 15575:2013 define vida útil como o período de tempo em que um edifício e seus sistemas atendem às atividades para as quais foram projetados considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção.

Deste modo, identificar essas patologias, apontar suas origens, entender causas e discernir suas tipologias, pode possibilitar ações preventivas ainda na etapa de projeto e execução da obra. O conhecimento das manifestações patológicas contribui para a melhoria contínua dos processos construtivos, na medida em que as informações sobre as mesmas são tratadas e divulgadas.

### **1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA**

O estudo da degradação e da vida útil das fachadas podem ser abordadas de diversas formas, desde pesquisas que abordam as manifestações patológicas, até métodos mais complexos que as quantificam e mensuram a vida útil. Destacam-se algumas pesquisas que abordaram manifestações patológicas e degradação das fachadas em edifícios na região do Distrito Federal, porém com foco em revestimento cerâmico:

- Antunes (2010), sistematizou uma abordagem de análise das manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachada, identificando os principais mecanismos de degradação, catalogando estas manifestações e aperfeiçoando a ferramenta de inspeção e diagnóstico;
- Silva (2014), mensurou e quantificou a degradação das fachadas, adaptando metodologias de modo a propor uma modelação de vida útil por meio da determinação da curva de degradação;
- Souza (2016), sistematizou e consolidou a mensuração da degradação, propondo novas formas de classificação e obtenção das curvas de degradação, estas com influências da idade, da orientação e do elemento de arquitetura; e
- Santos (2017), apresentou uma metodologia de catalogação das patologias mais ocorrentes nas edificações do Distrito Federal, identificando as tipologias mais comuns, discutindo causas primárias e secundárias destas patologias.

Outros estudos que tem como foco o revestimento em argamassa são, em sua maioria, estudos portugueses que analisam as manifestações patológicas próprias da região europeia, não traduzindo a realidade regional do Distrito Federal. Destacam-se:

- Gaspar (2009), levantou e analisou manifestações patológicas transpondo em modelos que permitiram a identificação dos estados limites, apontando um indicador de durabilidade;
- Flores-colen (2009), estabeleceu um conjunto de parâmetros mensuráveis, permitindo avaliar o desempenho em serviço de fachadas, propondo critérios de avaliação dos parâmetros de desempenho destas;
- Garrido (2010), explorou uma nova metodologia para estimar a vida útil das fachadas, mesclando inspeção de edifícios em campo e análise computacional através da plataforma BuindingsLife, desenvolvida no Instituto Superior Técnico de Lisboa;
- Chai (2011), desenvolveu e aplicou uma metodologia para previsão de vida útil baseada em modelos matemáticos de regressão não-linear e múltipla linear.

Estes pesquisadores coincidem em estabelecer, na formulação do indicador de degradação, uma constante que pondere a gravidade ou importância das patologias analisadas, porém se diferem na metodologia utilizada para obtenção desta variável. Algumas pesquisas (GASPAR, 2009; CHAI, 2011) utilizam critérios mais subjetivos, como análise de cenários alterando os pesos das patologias comparando os resultados às amostras, outras (SILVA, 2014; SOUZA, 2016) que vinculam esta constante aos custos de reparo destas patologias. Desta forma, esta variável se torna volátil, uma vez que os custos de reparo alteram dependendo da região, época ou até disponibilidade de mercado.

Procurando contribuir com os estudos e promover melhor compreensão dos fenômenos de degradação das fachadas, esta dissertação busca desenvolver uma proposta metodológica, estabelecendo uma ponderação referente à importância relativa das patologias. De forma a avaliar quantitativamente a evolução da degradação e estimar a vida útil nos sistemas de revestimentos em argamassa nas fachadas de edifícios na região em estudo.

Esta dissertação se insere na linha de pesquisa “Desempenho, Vida Útil, Degradação e Patologia no Ambiente Construído” do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), com enfoque no estudo relacionado à degradação de fachadas de edificações.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral consiste em estudar e mensurar a degradação das fachadas, a partir de inspeções e mapeamento das patologias, de modo a propor uma metodologia capaz de quantificar a degradação e vida útil das fachadas em argamassa.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Pretendem-se, como objetivos específicos desta pesquisa:

- Levantar, mensurar e classificar, por meio de estudos e inspeções de campo, as patologias nos revestimentos em argamassa;
- Levantar, quantificar e mensurar as causas que podem levar ao surgimento destas patologias, bem como a importância destas no estudo da degradação;
- Quantificar a distribuição do Fator de Danos (índice de quantificação das patologias observadas) por orientação e do Fator de Danos das Regiões das amostras;
- Propor o equacionamento, baseado no Método de Mensuração da Degradação (MMD), para um índice de degradação capaz de ponderar a gravidade das anomalias a partir da incidência relativa de cada uma na patologia observada;
- Aplicar o procedimento em um conjunto de edifícios de diferentes idades, de modo a obter uma curva de degradação ao longo do tempo.

## **2. DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DAS FACHADAS**

Dentre os vários componentes e sistemas dos edifícios, sua envoltória tem a função de proteger os espaços interiores das condições adversas do exterior (radiação solar, chuva, vento, dentre outras), e de servir como barreira a estes agentes. Vale ressaltar que a NBR 15575: 2013 estabelece níveis de conforto higrotérmico, acústico e de segurança relacionada às ações excepcionais.

A envoltória, composta essencialmente pelas fachadas e cobertura, é o elemento do edifício mais exposto às condições adversas (principalmente climatológicas), possuindo funções importantes de proteção do edifício, de seus elementos e da própria estrutura. Portanto, é essencial a realização de manutenção para preservar suas características e propriedades durante o período de vida útil, de modo a respeitar os níveis mínimos de desempenho.

O tipo de fachada (materiais utilizados, detalhes arquitetônicos) de um edifício pode influenciar significativamente seu processo degradativo. A interface existente entre as fachadas e os demais componentes, elementos e sistemas da edificação (esquadrias, estruturas, coberturas, pisos e instalações) aponta para a necessidade de uma abordagem conjunta do desempenho dos elementos e sistemas que interagem entre si (FLORES; BRITO, 2002; JERNBERG *et al.*, 2004).

Todo elemento sofre um processo de degradação no decorrer do tempo, e este processo é espontâneo e natural. Porém existem alguns esforços, de natureza mecânica, química, física, biológica ou das ações das intempéries, que podem acelerar este processo. As solicitações atuantes entre cada camada do sistema de fachadas promovem o comportamento diferenciado destas, e este comportamento pode prejudicar ou melhorar a aderência do revestimento ao substrato, alterando assim seu desempenho (BAUER; CASTRO, 2013; PINHEIRO, 2013).

Diante dos pontos expostos, neste capítulo primeiramente será realizada uma abordagem ao sistema de vedação vertical (SVV) mais comumente utilizado no Brasil.

### **2.1 O SISTEMA DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA**

O SVV pode ser entendido como os elementos e componentes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas (NBR 15575-4:2013). Este sistema caracteriza-se por ser um dos principais condicionantes no desempenho de um edifício (SILVA, 2014). Nas construções habitacionais

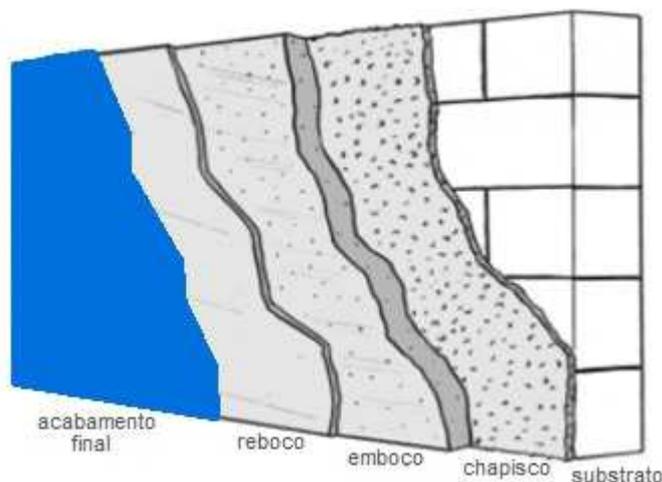
no Brasil, este sistema geralmente é composto por alvenaria em bloco cerâmico e revestimento em argamassa.

O revestimento em argamassa pode ser entendido como o subsistema que recobre uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber o acabamento final (NBR 13529: 2013).

Dependendo das proporções entre os constituintes da mistura e sua aplicação no revestimento, a NBR 13529: 2013 a argamassa é denominada quanto ao seu emprego, podendo ser chapisco (camada de preparo da base com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento), emboço (camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base com ou sem chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo) e reboco (camada de revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final).

Muitas vezes o revestimento é aplicado em uma camada única, cumprindo as funções do emboço e reboco nesta mesma camada, a qual pode ser chamada de massa única (também conhecido como reboco paulista) (ABCP, 2002). A Figura 2.1 esquematiza as camadas constituintes do revestimento em argamassa.

Figura 2.1 – Camadas do revestimento em argamassa (adaptado de ABCP, 2002)



As principais funções de um revestimento de argamassa estão vinculadas à proteção da base contra a ação direta dos agentes agressivos, contribuindo também com o isolamento termo-

acústico e a estanqueidade à água e aos gases, além de estar diretamente relacionada com a estética valorização econômica do edifício.

As tintas são materiais amplamente utilizadas como acabamento final dos revestimentos em argamassa. Este fato pode ser associado ao fator econômico, já que as tintas apresentam um menor custo quando comparadas com outros materiais de revestimento, aliado com a evolução tecnologia empregada em sua fabricação (MARQUES, 2013).

A tinta é constituída de minúsculas partículas sólidas em suspensão, que depois de aplicada sofre um processo de secagem, formando uma película fina, sólida, aderente e flexível. Sendo a última parte da camada de pintura.

O tipo de pintura deve ser adequado às condições de exposição da superfície onde será aplicada. Lambourne e Strivens (1999) condicionam que a eficácia da pintura depende de múltiplos fatores, que vão desde a seleção adequada dos produtos, passando pelo nível de preparação da superfície e pela qualidade dos materiais e da aplicação. A não observação destes fatores pode acarretar maior degradação do sistema e conseqüentemente a redução da vida útil (BORTAK, 2002).

As propriedades dos revestimentos no estado endurecido contribuem com o desempenho do mesmo, além de estarem diretamente ligadas à ocorrência de patologias. Várias de suas propriedades, como: aderência, permeabilidade, capacidade de absorver deformações, entre outras, irão influenciar diretamente no desempenho mecânico do revestimento. Na Tabela 2.1 são apresentadas as propriedades dos revestimentos argamassados de forma sucinta, vinculando estas com a ocorrência das possíveis patologias que podem comprometer o sistema. Observa-se que dentre as propriedades, a aderência e a capacidade de absorver deformações podem ser consideradas como as mais importantes no desempenho do sistema, principalmente no quesito fissuras.

Tabela 2.1 – Propriedades dos revestimentos em argamassa associados à possível ocorrência de patologias (adaptado de BAUER *et al.*, 2005)

<b>Propriedade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Patologias associada</b>
Capacidade de absorver deformações	Esta propriedade está relacionada com a capacidade do revestimento absorver/acompanhar as deformações geradas por esforços internos ou externos de diversas origens.	Fissuração
Aderência	Propriedade responsável pela ancoragem revestimento/substrato, a qual influenciará no desempenho do sistema. Ela é influenciada por diversos fatores como a natureza dos materiais, área de contato real, atrito e recuperação das deformações elásticas que surgem nos pontos de contato através da pressão de justaposição.	Descolamento, fissuração
Resistência a compressão, a abrasão e dureza superficial	Estas propriedades possuem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. São influenciados pelas cargas de impacto, abrasão superficial ou movimentações higroscópicas por umidade de infiltração.	Desagregação
Permeabilidade	Responsável pela possível passagem da água através da argamassa ou do componente ou elemento da construção, podendo a passagem ocorrer por infiltração, por capilaridade ou por difusão. Este fenômeno pode ser influenciado pela granulometria das areias, características e proporcionalidade dos materiais que compõem a argamassa, entre outros.	Eflorescência, desagregação

## 2.2 DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

Para compreender a degradação, primeiramente devemos definir o desempenho como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas (NBR 15575-1:2013). Assim, a degradação pode ser entendida como a perda de desempenho de um edifício e de seus sistemas devido à atuação de agentes que afetam negativamente o desempenho dos componentes e materiais do edifício. Entre estes agentes, estão incluídos aqueles ligados ao clima, biológicos, esforços mecânicos, incompatibilidades e fatores de uso.

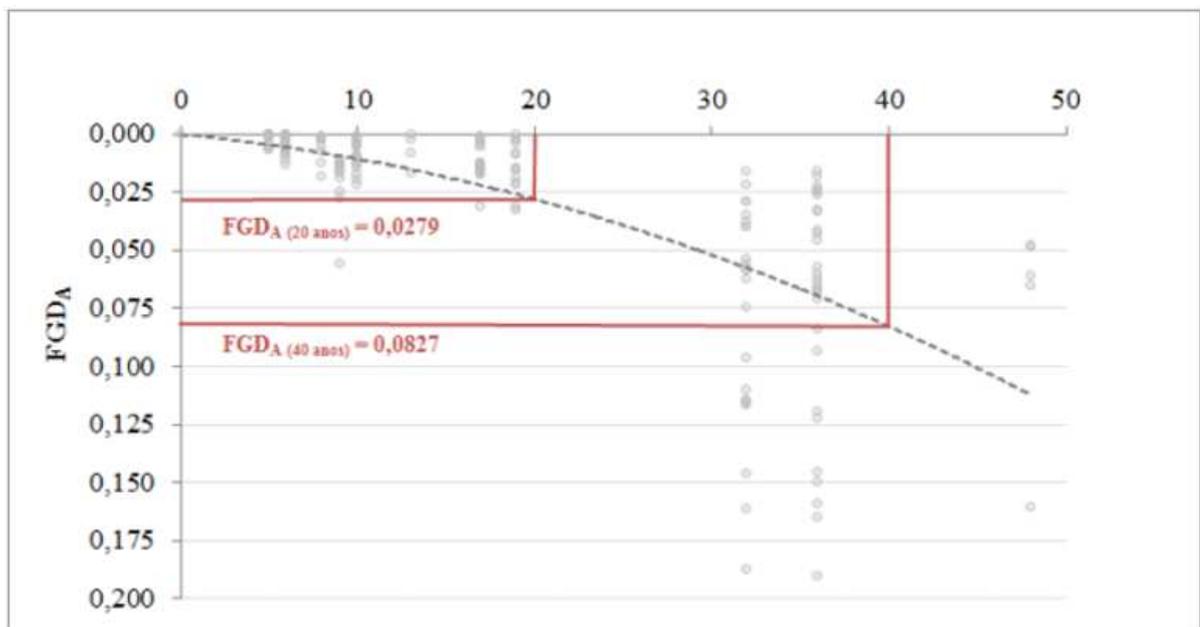
Os materiais utilizados no revestimento externo influenciam diretamente as propriedades do componente, alterando de forma significativa a porosidade, o transporte de água, a ductilidade ou a fragilidade do material (ANGELIN *et al.*, 2003; ARAUJO Jr, 2004; SALOMÃO, 2016). O que também promoverá o surgimento de patologias que afetam significativamente o processo degradativo nas edificações (ANTUNES, 2010).

A degradação pode ser representada graficamente a partir das curvas de degradação, que representam a evolução progressiva da degradação no decorrer do tempo (índice de degradação

x tempo). Essa representação reflete a velocidade em que os sistemas deixam de atender aos requisitos mínimos exigidos, perdendo sua capacidade funcional, podendo então estimar a vida útil (SHOHET; PACIUK, 2004; GASPAR; BRITO, 2008; DIAS *et al.*, 2014).

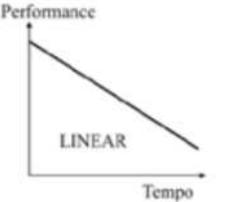
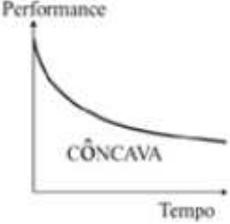
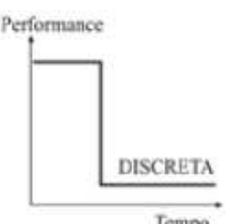
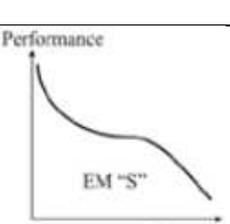
Como exemplo Souza (2016) apresentou a curva de degradação do Fator Geral de Danos (FGD) em função da idade de edifícios com revestimentos cerâmicos localizados em Brasília-DF, exposta na Figura 2.2. É possível observar que a degradação evolui através do aumento do fator geral de danos ao longo do tempo.

Figura 2.2– Curva de degradação do Fator Geral de Danos em função da idade (SOUZA, 2016)



Na Tabela 2.2 são apresentados alguns modelos de curvas de degradação. As tendências e configurações das curvas são associadas de acordo com o mecanismo de degradação atuante, e elas podem ser estabelecidas a partir dos quantitativos de degradação (GASPAR & BRITO, 2005; GASPAR, 2009; ANSELMO, 2012; SILVA, 2014; SOUZA, 2016).

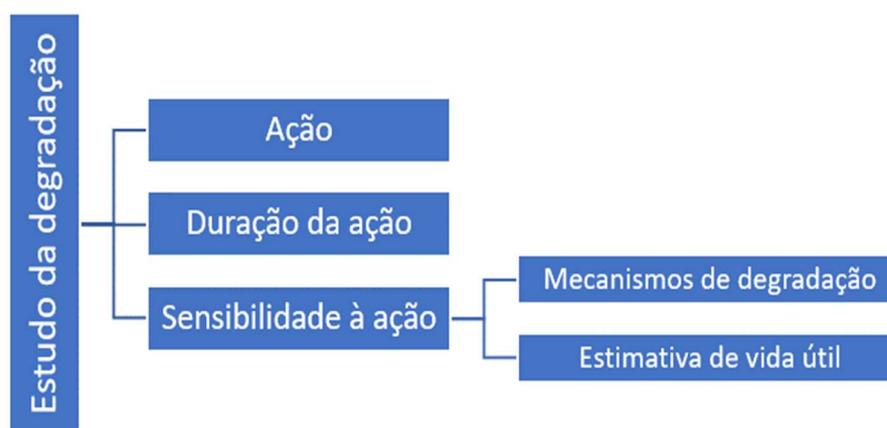
Tabela 2.2 – Tipos de curvas de degradação (adaptado de Shohet *et al.*, 1999)

Curva	Descrição
	<p>A curva de tendência linear apresenta uma perda constante da capacidade funcional ao longo do tempo. Observa-se este comportamento em degradações que estão relacionadas às ações de agentes atmosféricos permanentes, tais como radiação solar e ventos.</p>
	<p>A curva côncava representa o desenvolvimento acelerado do fenômeno de degradação nas idades iniciais e com o decorrer do tempo, em que a evolução da degradação é desacelerada. Este comportamento em degradações pode ser observado na ação de micro-organismos que provocam manchas ou na ocorrência de eflorescências.</p>
	<p>A curva convexa apresenta um comportamento inicial lento e que posteriormente, devido à associação e sinergismo entre as anomalias, o processo de degradação é acelerado. Essa curva apresenta a melhor configuração para representar os fenômenos de degradação.</p>
	<p>A curva discreta é atribuída a fenômenos que se caracterizam por apresentar forma espontânea ou aleatória e podem ocorrer em qualquer período de vida útil. Esses fenômenos podem ocorrer em função do uso, de fissuras resultantes de recalque estrutural ou acidentes de qualquer natureza que imponham queda brusca da capacidade funcional do elemento fazendo com que o mesmo atinja o fim de vida antes do limite de sua vida útil.</p>
	<p>A curva em "S" representa fenômenos associados às anomalias que ocorrem em idades recentes. Esses fenômenos estabilizam-se em determinado período e no decorrer do tempo voltam a ficar ativos e passam a apresentar uma evolução acelerada em seu desenvolvimento.</p>

O grau de degradação depende dos elementos da fachada em análise (estrutura, paredes, revestimentos), do seu comportamento estrutural, das propriedades dos materiais e das condições climáticas. Deste modo deve-se considerar a época do ano, a localização geográfica do edifício, a direção das fachadas expostas, o ambiente, a forma e dimensão do edifício, as manutenções realizadas, os cuidados na inspeção e quantificação dos danos, entre outros fatores que interferem no processo de mensuração da degradação.

No estudo da degradação (Figura 2.3) devemos nos atentar a três principais itens, que são: ação, duração da ação e sensibilidade à ação. Em relação à ação é importante caracterizar quais são os agentes responsáveis pela degradação. No que diz respeito à duração da ação, para as fachadas os agentes podem ser permanentes, cíclicos ou ainda pontuais. Já a sensibilidade não depende apenas do material, mas também do meio em que ele está inserido. Ela reflete na degradação quando associada às condições de exposição ambientais e demais fatores que interagem no processo de formação das anomalias (NASCIMENTO, 2016 apud BAUER, 2016).

Figura 2.3 – Estudo da degradação dos edifícios (adaptado de Bauer, 2016)



Henrique (2017) estudou as fachadas de edifícios em relação a sensibilidade à degradação estabelecendo uma nota técnica, que levou em consideração as disposições arquitetônicas, estruturais e a anisotropia dos materiais utilizados. Adotando uma sistematização dos aspectos construtivos, foi efetuada uma matriz de correlação, de onde balizaram-se as ponderações de pesos e interações atribuídas ao indicador de sensibilidade. Deste modo, possibilitando a classificação das fachadas quanto à sua suscetibilidade em sofrer degradação.

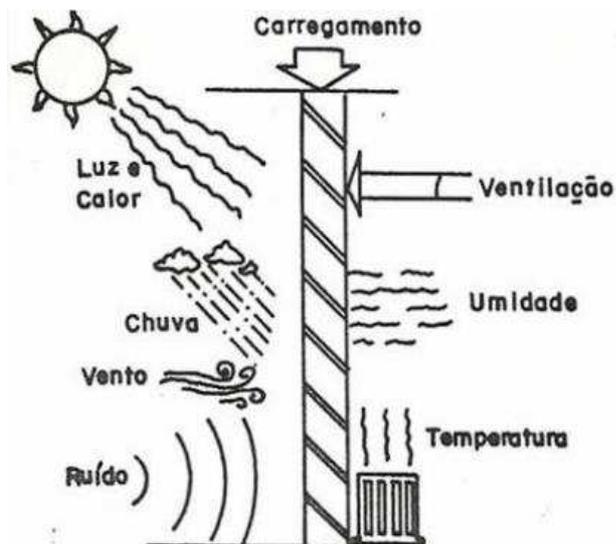
Conhecer e entender como estes três tópicos (ação, duração da ação e sensibilidade à ação) interagem sobre o material ou componente promovendo sua degradação, nos proporciona a formulação dos mecanismos de degradação, permitindo que sejam elaborados processos de previsão da vida útil do material. Porém, para melhor compreensão sobre os mecanismos de degradação é necessário primeiramente estudarmos os agentes que normalmente atuam sobre os edifícios e seus componentes.

### 2.2.1 Agentes de degradação

Os agentes de degradação das fachadas podem ser definidos como quaisquer fatores externos, provenientes de diferentes naturezas, agindo de forma combinada ou não, que comprometem adversamente o desempenho dos componentes e materiais do edifício; podendo ser ligados ao clima, biológicos, mecânicos, incompatibilidades e fatores de uso (ASTM E632, 1996; BS ISO 15686-2, 2012).

Na Figura 2.4 é ilustrada a ação de alguns agentes sobre as alvenarias que compõem a fachada dos edifícios. Observa-se que alguns fatores agem de forma permanente (carregamento estático), outros têm variação cíclica (variação da temperatura superficial por efeito da radiação solar), e outros tem ação aleatória (chuva dirigida sobre as fachadas).

Figura 2.4 – Ação de alguns agentes de degradação sobre as fachadas (BAUER, 1987)



Os agentes podem agir de maneira isolada, isto é, quando há somente um agente atuando sobre um material ou componente. Porém é mais provável que estes agentes atuem de forma conjunta sobre os materiais (quando dois ou mais fatores ocorrem simultaneamente), o que torna este estudo bastante complexo. Segundo a NBR 15.575-1: 2013, as condições de exposição são o conjunto de ações atuantes na edificação. Podemos citar por exemplo a incidência da chuva dirigida nas fachadas em que temos a ação da precipitação de chuva e da direção e velocidade do vento.

A diversidade dos agentes de degradação faz com que os mesmos sejam classificados conforme sua natureza, de acordo com a Tabela 2.3. De acordo com a BS ISO 15686-2 (2012) *apud* ISO

6241 (1984), estes ainda podem ser classificados pela sua origem, sendo externos ao edifício (provenientes da atmosfera e do solo) ou internos (devido a ocupação e projeto). É importante enfatizar que os agentes são classificados pela natureza de sua ação, sendo que a mesma pode ser combinada entre diferentes agentes e assim ser alterada.

Tabela 2.3 – Natureza dos agentes de degradação (BS ISO 15686-2, 2012 *apud* ISO 6241, 1984)

<b>Natureza</b>	<b>Classe</b>
Agentes mecânicos	Gravidade Esforços e deformações impostas ou restringidas Energia cinética Vibrações e ruídos
Agentes eletromagnéticos	Radiação Eletricidade Magnetismo
Agentes térmicos	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
Agentes biológicos	Vegetais e microrganismos Animais

Os agentes podem ter diversas procedências, conforme Tabela 2.4. Através da diversidade dos agentes provenientes dos fatores climáticos (radiação, água, vento e contaminantes do ar), é plausível considerar que as fachadas constantemente recebem a ação destes. Outros agentes que merecem atenção são os relacionados aos fatores de uso, principalmente a falta de manutenção, já que muitos edifícios não recebem manutenções preventivas ao longo de sua vida útil.

Tabela 2.4 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM E632: 1996)

Procedência	Classe
Fatores climáticos	Radiação Temperatura Água Contaminantes do ar Gelo, degelo Vento
Fatores biológicos	Micro-organismos Fungos Bactérias
Fatores de carregamento	Carregamentos periódicos e/ou permanentes
Incompatibilidades	Físicas Químicas
Fatores de uso	Projeto Instalação Desgaste natural ou por uso Falta de manutenção

### 2.2.2 Mecanismos de degradação das fachadas

Os mecanismos de degradação interpretam a forma como um elemento de construção reage sobre a aplicação de uma ação, isto é, explicam os diversos tipos de alterações (químicas, biológicas, físicas ou mecânicas) que acarretam as mudanças de uma propriedade ou de característica do elemento quando exposto aos agentes de degradação. Em semelhança aos agentes, um mecanismo de degradação pode envolver uma ou mais alterações, mudanças de propriedade ou agentes de degradação.

Desta forma os mecanismos de degradação muitas vezes explicam as patologias nas edificações. Tomando-se por exemplo as fissuras geradas por movimentações higroscópicas, o aumento do teor de umidade em materiais porosos produz uma dilatação higroscópica (expansão por umidade) enquanto que a diminuição da umidade provoca uma contração, causando tensões no material que podem originar fissuras (FIORITO, 2009).

Na Tabela 2.5 são apresentados os principais mecanismos de degradação mais ocorrentes em edifícios com revestimento em argamassa e acabamento em pintura na região de Brasília-DF, de acordo com natureza e origem dos agentes. Através desta tabela podemos perceber que vários agentes de diferentes naturezas, agindo de modo isolado ou em conjunto com outros agentes, podem ocasionar um determinado mecanismo de degradação.

Tabela 2.5 – Natureza, origem e mecanismos de degradação em fachadas com argamassa e pintura na região de Brasília-DF

<b>Natureza</b>	<b>Origem</b>	<b>Mecanismos de degradação</b>
<b>Agentes Físicos</b>		
Térmicos	Variações térmicas e gradientes, choque térmico	Deformações; alterações de umidade e temperatura
Umidade	Retração, molhagem, chuva	
Radiação	Radiação solar, radiação ultravioleta	
Eletroquímico	Corrosão das armaduras	
<b>Agentes Químicos</b>		
Água	Chuva, umidade do ar, condensação	Carbonatação; eflorescência; dissolução; desagregação
Ar	Carbonatação	
Solventes	Dissolução do cimento ou hidróxido de cálcio	
<b>Agentes Mecânicos</b>		
Deformações	Retração, variações térmicas	Deformações; fissuração
Gravidade	Peso do próprio elemento	
Vibrações	Vento, explosões, choques (impactos)	
<b>Agentes Biológicos</b>		
Micro-organismos	Bactérias, fungos	Desenvolvimento biológico (manchas)

Um dos fenômenos mais agressivos aos revestimentos de fachadas de edifícios é o mecanismo de degradação decorrente da ação da temperatura e radiação solar, que ocasionam variação de temperatura. A variação de temperatura pode provocar deformações físicas e variações químicas nos materiais, gerando fissuras, descolamento e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade e calor, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (SILVA, 2014 *apud* CONSOLI, 2006).

De modo geral, as características diferenciadas das patologias possibilitam compreender qual a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos, além de prever as suas prováveis implicações, uma vez que as patologias são evolutivas e podem provocar danos mais graves com o passar do tempo (GASPAR, 2009; SILVA 2014). Cabe ressaltar que cada fachada do edifício é exposta aos agentes de degradação de forma distinta, implicando em suas particularidades e peculiaridades.

### 2.3 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

A vida útil de um elemento de construção está diretamente relacionada às condições ambientais em que está sujeito, à qualidade dos materiais utilizados, ao acabamento, às condições de serviço e ao planejamento de manutenção (CIB, 1993; HOVDE, P. 2004; BS ISO 15686-2, 2012). Uma avaliação eficiente da vida útil deve levar em conta esses fatores e permitir a otimização dos planos de inspeção e manutenção e a implementação de uma gestão mais racional dos recursos gastos nas construções durante a vida útil (GARRIDO *et al.* 2012).

Durante a vida útil de um edifício, ele deve atender as necessidades ou exigências do usuário (Tabela 2.6), cumprindo critérios mínimos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Tabela 2.6 – Exigências do usuário (adaptado da ABNT NBR 15575-4:2013)

<b>Exigências do usuário</b>	<b>Requisitos e critérios</b>
Segurança	Segurança estrutural Segurança contra o fogo Segurança no uso e na operação
Habitabilidade	Estanqueidade Conforto térmico Conforto acústico Conforto lumínico Saúde, higiene e qualidade do ar Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade Manutenabilidade Impacto ambiental

Comumente o conceito de vida útil é confundido com o de durabilidade, levando a utilização equívoca dos termos. A durabilidade é um dos requisitos (qualitativo) determinados pela ABNT NBR 15575-1: 2013 e vida útil (quantitativo) é um dos critérios do requisito de durabilidade. Silva (2009) pondera que a vida útil é a quantificação da durabilidade, e esta por sua vez é uma propriedade que representa as características de qualidade dos materiais e serviços, obtida desde que atenda às exigências da Tabela 2.6. Portanto, é fundamental que se projete e construa tendo em vista critérios de durabilidade, executando manutenções periódicas e eficazes para, desse modo, prolongar a vida útil das construções.

A Vida útil de projeto (VUP) é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, afim de atender aos requisitos (Tabela 2.6). A VUP compõe parte da vida útil do edifício, e esta

pode variar em função da frequência e eficiência das manutenções, interferência dos fatores climáticos, mudança de uso da edificação, entre outros (ABNT NBR 15575-1:2013).

A norma ABNT NBR 15575-1:2013 estabelece os níveis de desempenho mínimo, que são obrigatórios para o atendimento de cada requisito em função das necessidades básicas do usuário, e nos fornece parâmetros para estimar valores intermediários se superiores para a VUP.

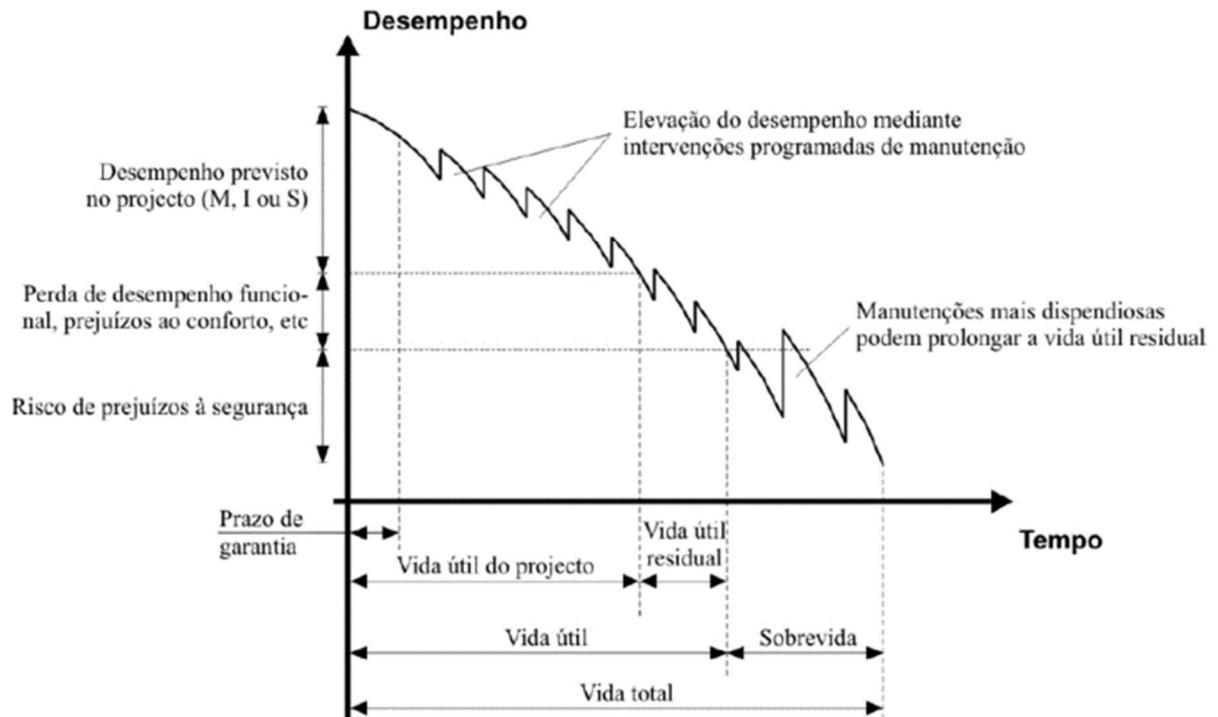
Na Tabela 2.7 são apresentados os valores mínimos, intermediários e superiores da VUP para os sistemas de fachadas. Observa-se que sistemas de vedação vertical externa devem atender a um nível de desempenho mínimo por um período de 40 anos. Se abordar apenas o revestimento de fachada (aderido ou não) em um período mínimo de 20 anos, e quando se tratando apenas da pintura o período mínimo é de apenas de 8 anos.

Tabela 2.7 – Vida útil de projeto (VUP) (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013)

Sistema ou Parte da edificação	VUP (anos)		
	Mínima	Intermediária	Superior
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Revestimento de fachada aderido ou não aderido	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Pintura (fachadas e revestimentos sintéticos texturizados)	≥ 8	≥ 10	≥ 12

A VUP pode ser alcançada através de ações de manutenção periódicas, conforme apresentado na Figura 2.5. Ainda nesta figura podemos observar três conceitos distintos de vida útil, sendo eles, além da VUP, a vida útil residual e a sobrevida. A vida útil residual é caracterizada como o período após a edificação atingir a VUP, em que, apesar da funcionalidade do sistema estar afetada, a segurança ainda é mantida por meio de ações de manutenção que passam a ser mais dispendiosas. Já na sobrevida os níveis de segurança passam a ser afetados (ANTUNES, 2010).

Figura 2.5 – Desempenho ao longo do tempo (NBR 15575-1: 2008)



A manutenção das edificações visa preservar ou recuperar os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho decorrente da deterioração dos seus componentes, ou de atualizações nas necessidades dos seus usuários. A ABNT NBR 15575-1:2013 prevê ainda um planejamento dos serviços de manutenção, definidos em planos de curto, médio e longos prazos, de maneira a:

- Coordenar os serviços de manutenção para reduzir a necessidade de sucessivas intervenções;
- Minimizar a interferência dos serviços de manutenção no uso da edificação e a interferência dos usuários sobre a execução dos serviços de manutenção;
- Otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos.

O plano de manutenção contempla o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e seus sistemas a fim de atender às necessidades e segurança dos seus usuários (ABNT NBR 5674: 2012). Este plano deve apreciar as condições de funcionalidade e a periodicidade de inspeção dos elementos do edifício. Assim, por meio de uma análise documentada, contendo a identificação e quantificação das patologias, descrever as atividades de manutenção a serem executadas.

Das diferentes formas de avaliação da vida útil dos edifícios determinados por normas (ISO 15686-2: 2012; ABNT NBR 15575-1: 2013), destaca-se a inspeção de edifícios. Esta permite uma avaliação da vida útil por conhecimento das características do sistema baseado no tempo mínimo de comprovação do desempenho e considerando a vida útil pretendida.

Muitas vezes a dificuldade de obtenção de dados dos históricos e a complexidade para monitorar e medir os agentes atuantes são obstáculos críticos nas inspeções de edifícios e na avaliação da vida útil. Entretanto, uma das grandes vantagens deste método é que ele permite realizar uma correlação direta entre o estado de componentes, o ambiente de exposição e a utilização do edifício, e com isto a obtenção dos dados de durabilidade (SOUZA, 2016).

Belisário (2016) desenvolveu uma metodologia para planejamento das operações de manutenção das fachadas, tendo por base as rotinas de inspeção e visando atender aos critérios de desempenho e vida útil. Onde foi demonstrado também a importância das atividades de manutenção para que um edifício preserve suas características e aspectos funcionais, atingindo assim o desempenho requerido ao longo de sua vida útil.

### **2.3.1 Métodos de previsão da vida útil**

O grande progresso dos estudos realizados sobre durabilidade levou ao trabalho conjunto dos comitês técnicos CIB W80 e RILEM 71-PSL a desenvolverem uma metodologia geral para a previsão da vida útil dos materiais e componentes de construção, com isto algumas necessidades de pesquisa nessa área foram identificadas (MASTERS; BRANDT, 1987; MASTERS; BRANDT, 1989).

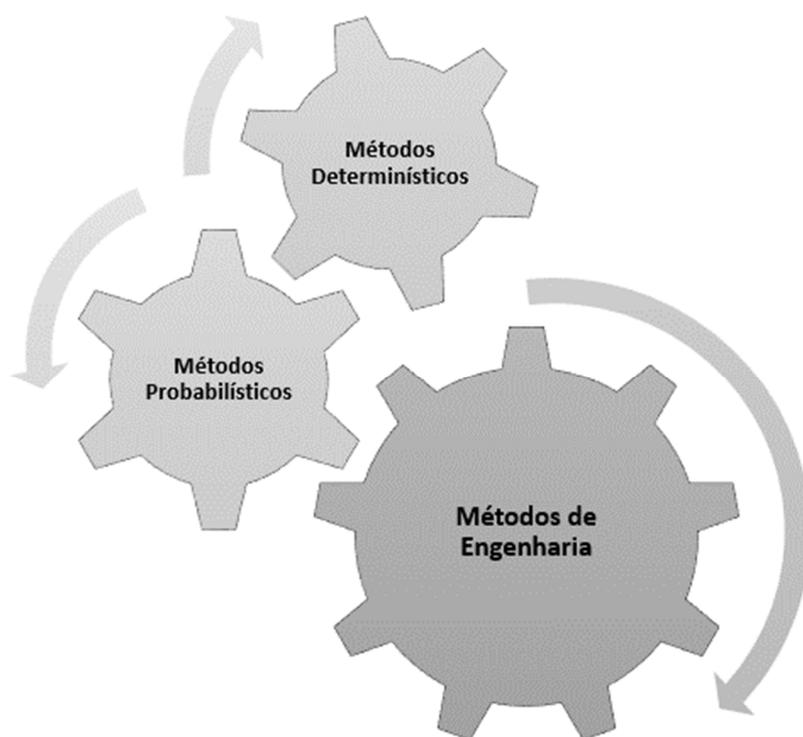
Deste então vários métodos de previsão de vida útil foram desenvolvidos, o que levou à concepção de documentos de normalização como o regulamento “*Architectural Institute of Japan*”, o código de construção *New Zealand Building Code (NZBC)*, a norma britânica BS 7543 “*Guide to durability of buildings and building elements, products and components*”, o regulamento canadense *CSA S478-95 Guideline on durability in buildings* e o conjunto de normas ISO 15686 (*Building and construction assets - service life planning*).

Os métodos de previsão da vida útil nem sempre são precisos e confiáveis como esperado. Há uma grande variabilidade relacionada com os processos de degradação e um elevado número de variáveis que afetam o ciclo de vida dos edifícios (HOVDE, 2004). É necessário estudar a questão da durabilidade sob novas perspectivas, acumular mais informações e alcançar nos

desenvolvimentos matemáticos, melhores previsões sobre a durabilidade (MARTINEZ *et al.*, 2012).

De acordo com CIB e ISO 15686-2, os principais métodos utilizados podem ser distinguidos em três abordagens diferentes: métodos determinísticos, métodos probabilísticos (ou estocásticos) e métodos de engenharia (HOVDE, 2004; JERNBERG *et al.*, 2004; SILVA *et al.* 2016).

Figura 2.6 – Relação entre diferentes tipos de métodos de previsão de vida útil (Adaptado de Hovde, 2004)



- **Métodos determinísticos**

Estes métodos são baseados no estudo dos fatores de degradação, na compreensão dos seus mecanismos de atuação e na sua quantificação. Eles são considerados de fácil compreensão e rápida aplicação, porém, em muitos casos, a informação obtida por meio deles é insuficiente para avaliar o risco de não alcançar a vida útil estimada (HOVDE, 2004). Estes métodos são os que têm produzido mais resultados práticos, servindo de base para a norma ISO 15686-2: 2012.

Os métodos determinísticos podem ser de dois tipos. Quando se é estimado apenas o valor determinístico da vida útil do elemento, classifica-se como Método Fatorial. Quando consiste na definição de curvas de degradação, que pretendem representar a

evolução da degradação do material ou componente durante um determinado período de tempo, denomina-se Método de Correlação Estatística (SILVA *et al.* 2016).

- **Métodos probabilísticos**

Estes métodos têm geralmente como base o cálculo matricial ou probabilístico, permitindo a elaboração de modelos que descrevem a evolução da degradação ao longo do tempo. Diferem dos modelos determinísticos por estimarem a vida útil em intervalos de possíveis valores com probabilidades de ocorrência (GARRIDO, 2010).

Nestes métodos é necessária a obtenção de uma grande quantidade de informações através do trabalho de campo em um extenso período de tempo para o seu desenvolvimento. A dependência do trabalho de campo e sua complexidade tornam a sua aplicabilidade reduzida (HOVDE, 2004).

- **Métodos de engenharia**

Estes métodos combinam a simplicidade dos métodos determinísticos com dados probabilísticos. A obtenção da vida útil estimada é realizada a partir da associação dos dados probabilísticos e a simplicidade de utilização com menor exigência de volume de dados, possibilitada pelos métodos determinísticos.

Os métodos de engenharia apresentam como vantagem a identificação dos fenômenos de degradação e de maneira mais analítica, permitindo um melhor controle, correção do projeto e/ou alteração nos planos de manutenção (SILVA *et al.*, 2014).

### **2.3.2 Método de Mensuração da Degradação (MMD)**

Neste contexto Bauer e colaboradores, a partir de estudos desenvolvidos na Universidade de Brasília (SILVA, 2014; PINHEIRO, 2016; SOUZA, 2016), produziram um significativo banco de dados relativo à degradação de edifícios. Assim desenvolvendo uma metodologia de avaliação e diagnóstico da degradação em fachadas denominada de Método de Mensuração da Degradação (MMD). Esta metodologia se baseia na adaptação de índice severidade da degradação (S), apresentado por Gaspar (2009).

O índice de severidade da degradação (S) tem o intuito de construir modelos de degradação e obter estimativas da vida útil do sistema analisado. Posteriormente, este índice foi adaptado e modificado nos estudos de Silva (2014), Pinheiro (2016) e Souza (2016), que ajustaram os critérios da fórmula de severidade para a realidade das fachadas revestidas por placas cerâmicas na região de Brasília-DF, e nomeou o índice de degradação como Fator Geral de Danos (FGD).

Cabe salientar que a metodologia trabalha com as patologias existentes, não sendo considerados os casos onde a fachada não apresenta patologias.

O MMD visa discutir sua aplicação como ferramenta de representação da degradação de edifícios apenas com o tipo de revestimento em análise. A metodologia de inspeções técnicas do MMD estabelecida por Silva (2014) fundamenta-se, basicamente, em cinco fases: investigação documental, investigação de campo, mapeamentos de danos da fachada, análise dos resultados e diagnóstico.

- **Investigação documental**

Fase de levantamento de informações técnicas do edifício. Projetos arquitetônicos, estruturais, de revestimento, histórico de manutenções, e dados sobre a região. O máximo de informações de caracterização possível, coletadas no próprio edifício, em repartições públicas ou por intermédio de moradores;

- **Investigação de campo**

Fase de vistorias in loco, com realização de inspeções visuais detalhadas com registro fotográfico da área de amostragem. A precisão na identificação das anomalias depende das inspeções visuais e da coleta correta dos levantamentos fotográficos, que deve ser capaz de identificar falhas e danos visíveis existentes no sistema de revestimento de fachada. Podem também ser empregados métodos para detecção de danos não visíveis, como o uso da termografia de infravermelho, por exemplo;

- **Mapeamentos de danos**

Na fase de mapeamento dividimos as fachadas em amostras a serem estudadas e seus danos visíveis são demarcados em um desenho esquemático da área de cada amostra. O mapeamento das fachadas que apresentam ocorrência de patologias divide os danos por regiões das amostras, visando quantificar a incidência de danos e utilizar essas informações no diagnóstico. Esta é a etapa mais trabalhosa, pois necessita de técnicas específicas para realização do mapeamento e definição de critérios para classificação das patologias;

- **Análise dos resultados**

Nesta etapa, além de se obter o Fator de Danos (FD) de todas as amostras, também serão analisados os resultados identificando as patologias existentes. Com estes resultados

poderemos identificar o grau de ocorrência de cada patologia e buscar associa-las à ação dos agentes de degradação; e

- **Diagnóstico**

A fase de diagnóstico consiste em estabelecer hipóteses para descrever os mecanismos específicos responsáveis pela origem e desenvolvimento das anomalias e obter a estimativa da vida útil das fachadas. Para isso emprega-se o conceito do FGD, propondo uma classificação da gravidade das patologias, bem como a análise de ocorrência de correlações entre elas. Podendo formular um equacionamento para a mensuração da degradação e através deste, obter as curvas de degradação.

### **2.3.2.1 Fator de Danos (FD)**

O MMD se baseia da análise do comportamento e evolução da degradação, a partir da correlação entre os valores quantificados e o grau de gravidade dos problemas observados. Este método analisa amostras da fachada dos edifícios em que é possível estabelecer um parâmetro inicial de análise da degradação através de um índice denominado de Fator de Danos (FD). Este resultado é um balizador dos estudos de degradação que estimam a vida útil de um edifício. Este índice nos informa o grau de incidência de determinadas patologias, porém sem levar em conta a gravidade das mesmas. O FD pode ser definido como o fator do somatório da área degradada dividido pela área total da amostra analisada. Podemos calcular pela seguinte fórmula:

$$FD = \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde:

$A_{d(n)}$ : Área danificada de uma patologia (n), calculada na fase de mapeamento (m<sup>2</sup>);

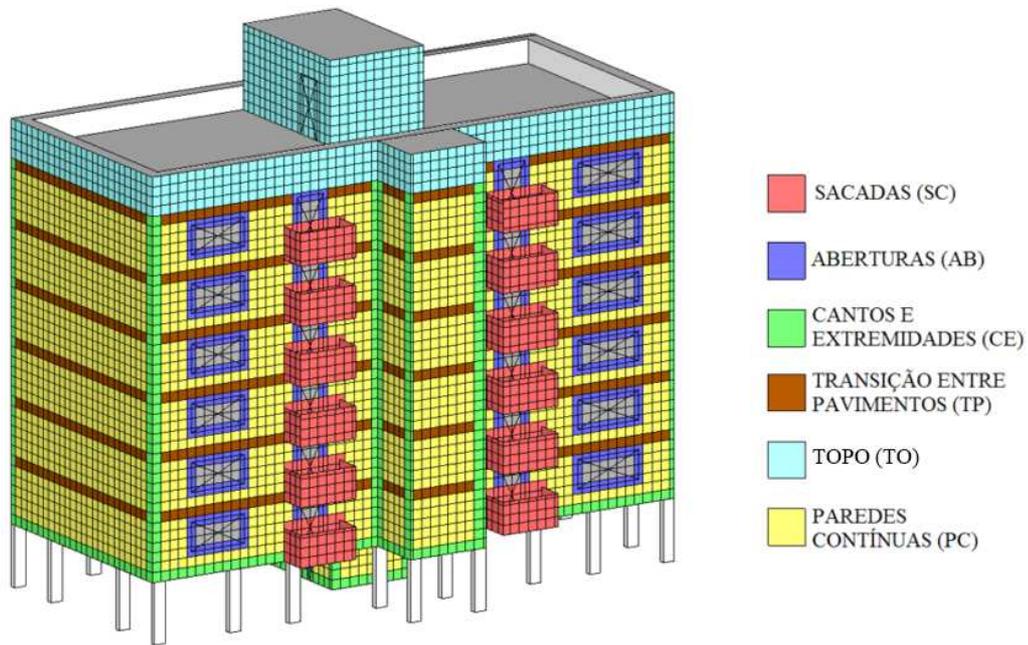
$A_t$ : Área total da amostra (m<sup>2</sup>).

### **2.3.2.2 Estudo das Regiões**

O FD dos edifícios também pode ser analisado quanto às regiões em que as patologias se manifestam, Silva (2014) definiu em seis regiões. Na Figura 2.7 é exemplificado, em um edifício hipotético, cada uma destas regiões. A ordem de classificação destas regiões, proposta por Pinheiro (2016) e Souza (2016), segue a seguinte ordem:

1. **Sacadas (SC)** – A particularidade dessa região é o balanço do elemento. Apesar desta região ser proposta, ela não foi utilizada neste estudo pois nenhuma das amostras analisadas apresentou este elemento.
2. **Aberturas (AB)** – São as áreas em torno das portas e janelas. As unidades da malha que estiverem contornando as extremidades das aberturas (portas, janelas, elementos vazados, etc.) serão classificadas nesta região.
3. **Cantos e Extremidades (CE)** – São as áreas em contorno do plano da fachada ou onde há discontinuidades. Serão consideradas, nesta região, apenas as primeiras as unidades da malha que estiverem contornando as extremidades (recuos e avanços também são considerados) da fachada.
4. **Transição entre Pavimentos (TP)** – São as áreas entre os andares do edifício. As unidades da malha classificadas como TP serão as que estiverem sobre a divisão entre dois pavimentos.
5. **Topo (TO)** – São as áreas acima do último pavimento. As unidades da malha que estiverem acima da TP do último andar serão classificadas nesta região. Esta região é constituída basicamente pela área da fachada que não são habitáveis, acima do último pavimento, como caixas-d'água, casas de máquina de elevadores, depósitos de materiais, telhado.
6. **Paredes Contínuas (PC)** – São as áreas contínuas do plano de fachada que não foram classificadas em nenhuma das regiões acima. Esta região, geralmente, representa a maior área de extensão e, por isso, deve ser classificada por último.

Figura 2.7 – Exemplo da classificação das regiões em um edifício hipotético  
(Fonte: PINHEIRO, 2016)



Para se analisar o Fator de Dano das Regiões ( $FD_R$ ) é utilizada a equação 2.2, determinada pela razão da área degradada de cada região separadamente pela área total da amostra.

$$FD_R = \frac{\sum A_{dr}}{A_t} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

$A_{dr}$ : Área danificada de cada região, considerando todas patologias ( $m^2$ );

$A_t$ : Área total da amostra ( $m^2$ ).

O simples uso desta fórmula (Equação 2.2) na análise das regiões apenas determinaria a frequência de incidência dos danos, uma vez que ela é influenciada diretamente pelo tamanho da área de cada região da amostra. Tendo em vista que algumas regiões da fachada possuem uma área muito pequena em comparação a outras na mesma amostra. Como a degradação é medida em área degradada, provavelmente as regiões com maiores áreas apresentariam um maior índice de degradação, quando comparadas às regiões com menores áreas.

Portando, usa-se a Equação 2.3, denominada por Silva (2014) de Coeficiente de Correção das regiões ( $CC_r$ ), para corrigir a proporcionalidade das regiões da fachada. Esta equação é a razão entre a região com menor área pela área da região em análise. Sendo:

$$CC_r = \frac{A_r(m)}{A_r(x)} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde:

$A_{r(m)}$ : Área da região de menor área; e

$A_{r(x)}$ : Área da região em análise.

Multiplica-se o resultado desta equação junto ao FD para obter o Fator de Danos das regiões corrigido ( $FD_{RC}$ ). Deste modo, para verificar o nível de degradação nas determinadas regiões, usa-se a seguinte equação:

$$FD_{RC} = \left( \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t} \right) \times CC_r \quad (\text{Equação 2.4})$$

Onde:

$A_{d(n)}$ : Área danificada de uma patologia (n), calculada na fase de mapeamento ( $m^2$ );

$A_t$ : Área total da amostra ( $m^2$ ); e

$CC_r$ : Coeficiente de correção da região em análise.

### 2.3.2.3 Fator Geral de Danos (FGD)

A evolução progressiva da degradação pode ser representada por índices de degradação (FGD) ao longo do tempo, dando origem então a curvas de degradação. O FGD é uma ferramenta de cálculo do percentual de degradação e estimativa da vida útil de fachadas. Esta ferramenta de análise permite estabelecer o estágio de degradação total das amostras de fachada, ponderando os diversos tipos de danos. Ele consiste em um modelo de cálculo de degradação avaliado por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias consideradas no levantamento efetuado por intermédio das inspeções em fachadas.

O FGD considera dois pesos (o nível de condição dos danos e a importância relativa entre as patologias) no cálculo das degradações, possibilitando assim a determinação de um grau de degradação das fachadas. O modelo analisado do FGD deste trabalho será baseado nos estudos de Souza (2016) e Silva (2014), que aplicaram esta ferramenta em fachadas compostas por revestimento cerâmico, porém será adaptado às patologias típicas encontradas em revestimentos em argamassa e acabamento em pintura.

A Equação 2.5 consiste no modelo de cálculo de FGD com as devidas adaptações de  $k_n$ ,  $k_{cn}$  e  $k_{máx}$ , de modo a permitir a aplicação em nosso caso de estudo, tratando sempre em relação a pior condição possível na formulação.

$$FGD = \frac{\sum A_{d(n)} \times k_n \times k_{cn}}{\sum k_{m\acute{a}x} \times A_t} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde:

$A_{d(n)}$ : a área danificada por uma patologia  $n$  ( $m^2$ );

$K_n$ : constante de ponderação das patologias, em função do nível de condição, onde  $K_n \in \{1,2,3,4\}$  (Tabela 2.8);

$k_{cn}$ : constante de ponderação da importância relativa das patologias detectadas;

$\sum k_{m\acute{a}x}$ : somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

$A_t$ : Área total da amostra de fachada ( $m^2$ ).

As variáveis de ponderação  $k_n$  e  $k_{cn}$  refletem pesos relativos à gravidade de cada patologia. A ponderação do  $k_n$  estabelece a gravidade de cada dano em função da extensão de ocorrência. Bauer e colaboradores (SILVA, 2014; PINHEIRO, 2016; SOUZA, 2016) desenvolveram e vem utilizando os valores relativos às variáveis de ponderação ( $k_n$  e  $k_{cn}$ ) para estudar a vida útil de edifícios com revestimento cerâmico de fachada na cidade de Brasília, DF. Nestes estudos, o  $K_{cn}$  foi balizado quanto ao custo de reparo e manutenção das patologias. Na Tabela 2.8 são apresentados estes valores em relação às patologias analisadas por Souza (2016). A constante  $k_{m\acute{a}x}$  para estes estudos assume o valor 4,0, estabelecendo o maior nível de danos, ou seja, o padrão máximo de degradação.

Tabela 2.8 – Variáveis de ponderação utilizados por Souza (2016) para revestimentos cerâmicos

<b>Nível de condição (k)</b>	<b>Tipo de dano</b>	<b>Nível de ponderação (k<sub>n</sub>)</b>	<b>% área degradada</b>
Nível 0 – Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	–	–
Nível 1 – Boa condição	Falha de rejunte Eflorescência Falha de vedação	1	FD < 4,3% FD < 1,2% FD < 5,7%
Nível 2 – Degradação Suave	Falha de rejunte Eflorescência Falha de vedação Fissuração Desc. cerâmico	2	4,3% < FD < 9,0% 1,2% < FD < 1,5% 5,7% < FD < 8,1% FD < 4,0% FD < 37,1%
Nível 3 – Degradação elevada (final da vida útil)	Falha de rejunte Eflorescência Falha de vedação Fissuração Desc. cerâmico	3	FD > 9,0% FD > 1,5% FD > 8,1% 4,0% < FD < 6,1% 37,1% < FD < 49,1%
Nível 4 – Degradação grave (extrema)	Fissuração Desc. Cerâmico	4	FD > 6,1% FD > 49,1%

### 3. PATOLOGIAS DAS FACHADAS

A patologia, no contexto da edificação, representa qualquer manifestação que resulta em desempenho deficiente de um material, componente ou sistema construtivo, quando considerado o nível de qualidade originalmente pretendido. Desta forma, o estudo das patologias pretende compreender os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos dos edifícios, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (CIB, 2013).

Devido a grande ocorrência de variações nas diversas ações tomadas em cada momento da construção de um edifício e nas circunstâncias em que essas ações são tomadas, não existem dois edifícios idênticos no mundo, sendo cada edifício modelo único (CIB, 2013). Devido a estas muitas possibilidades de ações e decisões a serem tomadas, existem grandes chances de ocorrerem falhas, que, em simultaneidade com a ação de diversos agentes (climáticos, físicos, químicos e biológicos) proporcionam a ocorrência das patologias nas edificações.

As patologias podem ser originadas como consequência a ações executadas em vários momentos na vida de um edifício. Elas podem ser classificadas conforme o período das ações ocasionais destas falhas, sendo elas:

- Congênitas: são originárias da fase de projeto em função de erros, omissões, ou não atendimento às normas técnicas. Estas falhas resultam em idealização inadequada dos revestimentos;
- Construtivas: ocorrem durante a fase de execução da obra, resultante da utilização de produtos não certificados, do emprego de mão de obra desqualificada e da metodologia incorreta, ou na ausência desta, da execução dos revestimentos;
- Adquiridas: quando sucedem durante a vida útil dos revestimentos, sendo resultado da exposição ao meio em que se inserem ou em função de manutenções inadequadas ou realização de interferências incorretas;
- Acidentais: quando ocorrem em decorrência de uma solicitação incomum ou de um fenômeno atípico, exemplos destas são as patologias provocadas por incêndio, enchente, tufão, entre outros.

As patologias ainda 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 as manchas. Já as funcionais alteram negativamente a integridade dos

componentes e sistemas da edificação, podendo comprometer, ainda, sua segurança (FLORES-COLEN, 2009).

As patologias apresentadas por um determinado sistema podem ser identificadas através dos sintomas apresentados. Eles variam em função das características construtivas do edifício, das solicitações à ele impostos, dos agentes atuantes e até mesmo em função de sua localização e dos elementos a sua volta.

Assim, esta seção abordará especificadamente as patologias dos sistemas de revestimento em argamassa, em que também será proposta uma classificação destas patologias de acordo com suas ocorrências para a cidade de Brasília-DF. Em seguida, para cada patologia identificada, serão apresentadas prováveis causas diretas e indiretas de sua ocorrência.

### **3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS**

Podem ser determinadas várias patologias que ocorrerem nas fachadas com revestimento em argamassa. Desta forma, com o objetivo de levantar uma base de dados na qual são classificadas as patologias observadas pela inspeção visual na região de estudo, é realizado um levantamento de diversas pesquisas. Em que, no que diz respeito às patologias nos sistemas de revestimento de fachadas, são listadas:

- Gaspar e Brito (2005) definiram diferentes níveis de performance, que podem afetar o desempenho dos revestimentos em argamassa e distribuíram as patologias de acordo com sua importância, sendo eles: Nível 1 (manchas); Nível 2 (microfissuras, grafite, presença de fungos e umidade leve); Nível 3 (fissuras, baixa infiltração, eflorescência e danos na argamassa); e Nível 4 (macro fissuras, infiltração, corrosão, rupturas, perda de adesão entre camadas e destacamentos);
- Monjo Carrió (2007) agrupou falhas que danificam materiais e elementos de construção em três famílias: falhas físicas (umidade, sujeira e erosão); falhas mecânicas (deformação, ruptura, desprendimento e erosão); e falhas químicas (eflorescência, corrosão e organismos biológicos);
- Flores-Colen *et al.* (2008) caracterizaram 11 tipos de manchas em paredes, sendo elas: eflorescência, carbonatação, sujeira, "manchas fantasmagóricas", umidade, fungos, vegetação parasita, corrosão, alterações cromáticas ou descoloração, grafite e excrementos de pássaros;

- Gaspar e Brito (2008) e Silva *et al.* (2013) caracterizaram apenas três patologias (manchas, fissuração e descolamento) que afetam fachadas com revestimento em argamassa;
- Rodrigues *et al.* (2011) identificaram as principais anomalias nas fachadas como descoloração e destacamento, fissuras, manchas (eflorescência e sujeiras) e umidade;
- Ahzahar *et al.* (2011) classificaram um índice relativo para os tipos comuns de patologias de construção e falhas de projetos, dentre eles se destacam as manchas, a corrosão, os danos da superfície exterior, a umidade, o destacamento da pintura, as falhas no telhado, as rachaduras, o destacamento da argamassa, as falhas da fundação e a instabilidade estrutural;
- Marques (2013) estudou uma grande quantidade de patologias dos sistemas de pinturas e as classificaram em quatro grupos: defeitos de curto prazo ou imediatos; defeitos de médio prazo; defeitos de longo prazo; e defeitos inesperados. Dentre elas podem-se destacar, pela maior ocorrência, as bolhas, o destacamento, a fissuração e as manchas;
- Pires *et al.* (2015) classificaram 14 tipos de patologias em fachadas pintadas em cinco grupos que distinguem entre as várias formas de manifestação patológica: anomalias na aderência do substrato (descamação e bolhas); anomalias de coesão da película (fissuras e marcas), anomalias de cor (desbotamento, recobrimento e escorrimento); manchas (sujeiras, colonização microbiana, eflorescência e grafite); e anomalias de textura (crateras, enrugamento e textura heterogênea);
- Gaspar *et al.* (2016) classificaram oito principais patologias que afetam as fachadas revestidas em argamassa em edifícios residenciais na Espanha, sendo elas: falha de adesão entre as camadas; fissuras; infiltração; deformação; manchas; destacamento; corrosão e ruptura;
- Carretero-Ayuso *et al.* (2016) classificaram 17 principais patologias nos edifícios residenciais e relacionaram suas principais causas. De acordo com estes autores as patologias mais recorrentes estão relacionadas à presença de umidade, sendo elas a infiltração, a condensação, e a ascensão capilar;
- Santos (2017) catalogou as patologias recorrentes nas fachadas dos edifícios residenciais em Brasília. As patologias consideradas por esta autora que podem ocorrer em fachadas com revestimento em argamassa são fissuras, descolamento, manchas e eflorescência;

- Macêdo (2017) e Santos *et al.* (2018) classificou oito patologias ocorrentes em fachadas com revestimento em argamassa também para Brasília: fissuras na argamassa, manchas, descolamento da argamassa, descolamento da película de pintura, pulverulência, eflorescência, bolhas e fissuras na pintura.

Dado este panorama, observa-se que as patologias analisadas por Santos *et al.* (2018) (fissuras na argamassa, manchas, descolamento da argamassa, descolamento da película de pintura, pulverulência, eflorescência, bolhas e fissuras na pintura) são as principais encontradas na região em estudo neste trabalho, tornando importante a compreensão de cada patologia, separadamente, para entender os mecanismos que influenciam no surgimento destas, ou seja, em suas causas.

### 3.2 DESIGNAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Desta forma seleciona-se as patologias, em decorrência de sua manifestação, em dois grupos principais (Tabela 3.1): originadas no revestimento em argamassa ou na camada de pintura. Podemos destacar o descolamento e a fissura como as mais danosas ao sistema de revestimento, podendo ser manifestadas tanto na camada de argamassa como na camada de pintura.

Tabela 3.1 – Patologias conforme a camada manifestada

<b>Camada manifestada</b>	<b>Patologias</b>
Revestimento em argamassa	Descolamento Fissura Pulverulência (desagregação) Eflorescência Mancha
Camada de pintura	Descolamento Fissura Bolha

#### 3.2.1 Descolamento

Quando a argamassa perde a sua capacidade de aderência ao substrato (camada subjacente), dá-se o seu descolamento em relação à base de assentamento. A perda de aderência entre a argamassa e a parede manifesta-se através do destacamento da argamassa em relação ao substrato.

O descolamento representa a separação definitiva da argamassa em relação ao seu suporte, provocando descontinuidades na superfície, geralmente, este fenômeno é identificado através da queda de porções da argamassa. Geralmente ocorre devido a incapacidade do revestimento em resistir aos esforços de flexão e torção solicitados na camada rígida do revestimento; conseqüentemente, o reboco descola e cai, sob a forma de placas com geometria irregular.

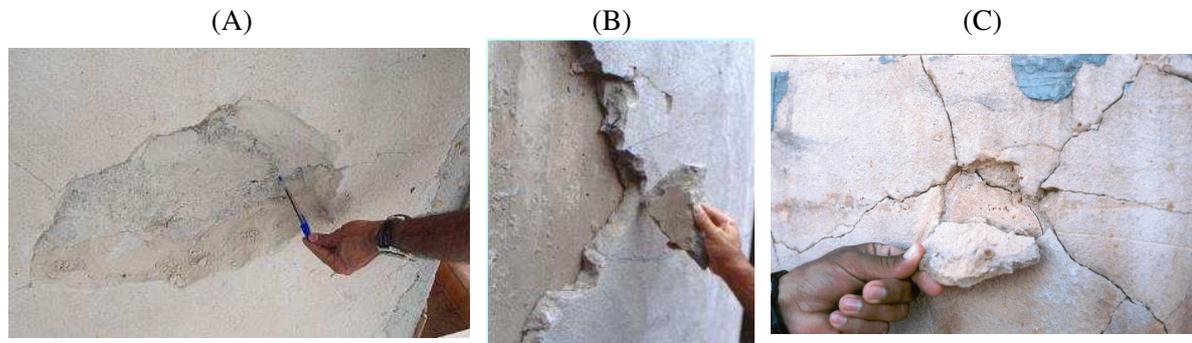
O descolamento ou destacamento representa o final da vida útil do reboco, já que este deixa de cumprir a sua função de proteção do substrato, o qual fica exposto à ação direta dos elementos atmosféricos, além de causar risco efetivo para a segurança e saúde dos moradores. Devido a este descolamento da argamassa, ocorre também a deterioração da qualidade visual da fachada, causando a desvalorização do edifício como um todo.

Pode ocorrer também o descolamento e afastamento do reboco em relação ao substrato sem que partes deste cedam, o que pode facilmente ser identificado através do som cavo que emite quando percutido. Todavia, este tipo de descolamento torna-se muito difícil de ser detectado apenas com a inspeção visual pois sua aparência não demonstra a patologia, porém a inspeção por termografia pode detectar este descolamento.

Esta patologia pode ser minimizada, ou até mesmo evitada, através da aderência adequada entre as camadas constituintes do sistema de vedação, fazendo com que as tensões sejam distribuídas de forma equilibrada, admitindo uma maior resistência aos movimentos entre as camadas. Isto pode ser alcançado com a limpeza do substrato, uso camada de chapisco, uso de materiais e procedimentos adequados, execução da cura do revestimento, dentre outras.

Na Figura 3.1 são apresentadas algumas superfícies com a ocorrência de destacamento do revestimento devido a camada muito espessa do revestimento (A), falta de limpeza e preparo do substrato (B), e ao baixo consumo de aglomerantes (C).

Figura 3.1 – Descolamento do revestimento devido a (A) camada muito espessa do revestimento, (B) falta de preparo do substrato, (C) baixo consumo de aglomerantes (Fonte: Banco de imagens Bauer (2018))



Na Tabela 3.2 são apresentados algumas das principais causas da ocorrência de descolamento do revestimento em argamassa em relação ao substrato. Percebe-se que as falhas devido ao processo inadequado (projeto e execução) influenciam em diversos aspectos como causa desta patologia.

Tabela 3.2 – Principais causas da ocorrência de descolamento (Adaptado de SANTOS, 2017)

Natureza	Causa
Estrutural	Instabilidade da base Movimentações estruturais
Ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, incidência solar) Química (oxidação, carbonatação)
Processo (projeto e execução)	Espessura e rigidez da argamassa Falta de limpeza e preparação da base Dosagem incorreta dos materiais ou uso de materiais não adequados Retração da argamassa Deficiência nas ligações entre os subsistemas e materiais da fachada Deterioração dos materiais e/ou falta de manutenção Falha de vedação ou defeito que possibilita penetração ou acúmulo de água

### 3.2.2 Fissuras

Entre as diversas manifestações patológicas que ocorrem nos edifícios, Santos (2017) destaca as fissuras como uma das mais importantes devido a três aspectos: o aviso de algum problema sério na estrutura, o comprometimento do desempenho do edifício em serviço e o constrangimento psicológico que a fissuração exerce sobre seus usuários.

O sistema de vedação vertical, no qual a fachada está inserida, é composto por camadas de diferentes materiais. Devido às solicitações externas, cada camada sofre movimentações distintas, o que provoca a ação de diferentes tensões em cada camada do sistema. Caso os materiais não apresentem características de resistência e deformabilidade, para absorverem a estes esforços, poderá ocorrer o surgimento das trincas ou fissuras.

Deste modo as fissuras são manifestações patológicas decorrentes da fratura ou ruptura, principalmente ocasionada por alterações dimensionais, do deslocamento e das variações de volume. Estas variações podem ser associadas às mais diversas causas e os mecanismos causadores geralmente são decorrentes de processos físicos, químicos ou mecânicos. Frequentemente o problema não está no revestimento, mas na base sobre a qual o mesmo foi aplicado.

Há diversos mecanismos de degradação que podem ocasionar a manifestação das trincas ou fissuras. Na Tabela 3.3 são apresentadas as principais causas de fissuração de acordo com sua natureza. Destacam-se as de ações naturais físicas (variação térmica) e derivadas do processo como retração e de deficiência nas ligações entre os subsistemas e materiais da fachada.

Tabela 3.3 – Principais causas de fissuração (Adaptado de SANTOS, 2017)

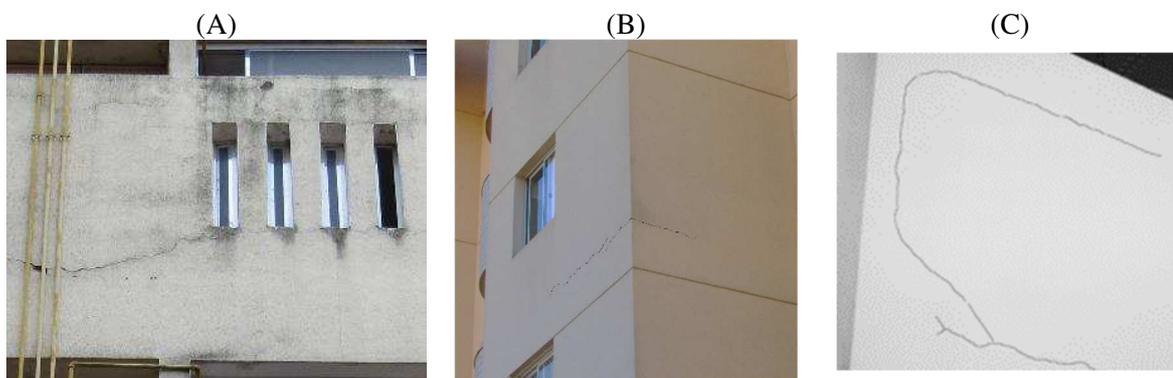
<b>Natureza</b>	<b>Causas</b>
Estruturais	Deformação Recalque da fundação
De ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, variação térmica, umidade) Química (oxidação, carbonatação, chuva ácida, sais, poluição, etc.) Biológica
Quanto ao processo (execução ou projeto)	Ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas Desrespeito entre os tempos de espera de execução das camadas do sistema Dosagem ou preparo inadequado da argamassa Concepção/posicionamento/preenchimento deficiente de juntas Espessura da camada de revestimento Retração Excesso de desempenho da argamassa Deficiência nas ligações entre os subsistemas e os materiais da fachada

Mesmo que sejam realizadas manutenções visando a reparação das fissuras e resolvendo a manifestação dos sintomas, dificilmente estas ações resolvem a origem delas. Caso estas intervenções visando tratar a da fonte do problema não ocorram, existem fortes probabilidades

da persistência de fissuração. Porém, na prática, na maior parte das situações, não é possível eliminar a origem do problema e são realizados métodos de reparação que minimizem ou adiem o reaparecimento da fissuração.

Santos (2017) encontrou três principais causas de fissuras em edifícios em Brasília-DF, apresentadas na Figura 3.2; sendo elas as causadas pela falta ou ineficiente execução de vergas e contravergas, em função da variação térmica e por deficiência nas ligações entre os subsistemas (interface entre estrutura e alvenaria).

Figura 3.2 – Configuração das fissuras de acordo com suas principais causas para revestimentos de edifícios em Brasília-DF: (A) falta de vergas e contravergas; (B) variações térmicas; e (C) deficiência nas ligações dos subsistemas



### 3.2.3 Pulverulência

Uma das patologias que mais evidenciam perda de coesão do revestimento é a pulverulência. A perda de coesão corresponde à desunião ou desagregação dos componentes da argamassa. Desta forma, a pulverulência pode ser entendida como a desagregação dos componentes da argamassa, que se esfarela e conduz ao desprendimento de material sob forma de pó ou de grânulos.

Este fenômeno ocorre principalmente em argamassas antigas ou com reduzida percentagem de cimento, especialmente após o destacamento da camada superficial do reboco, mais endurecida, que ao desagregar deixa expostas ao ambiente as camadas interiores. Esta patologia além de alterar a aparência da superfície do revestimento, denegrindo a estética do edifício, causa alterações extremamente agressivas com o enfraquecimento do revestimento, causando danos que afetam a funcionalidade e reduzem o desempenho da fachada.

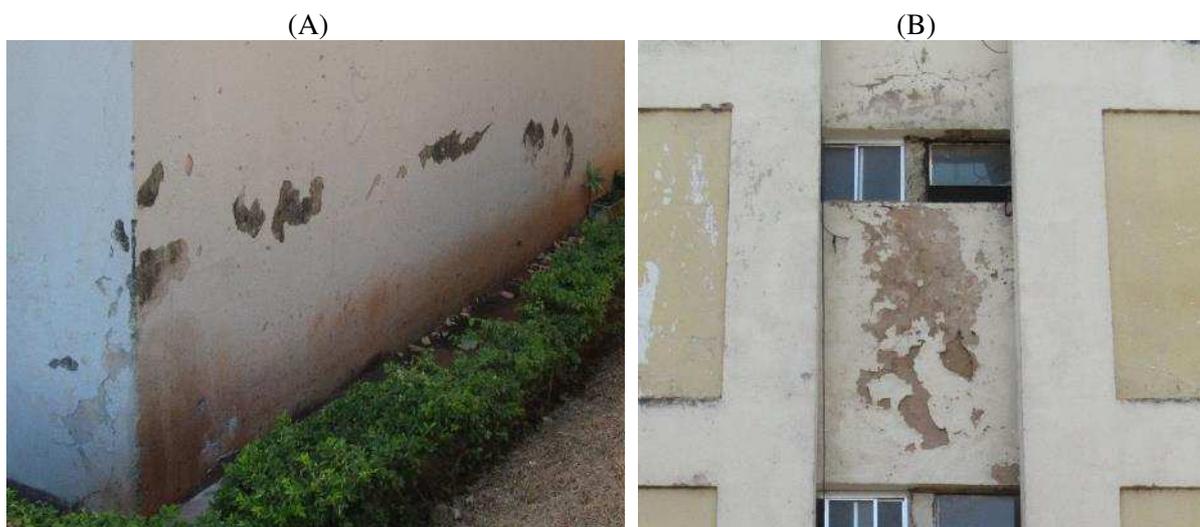
O sistema de revestimento, principalmente externo, está sujeito à ascensão capilar da água presente no solo ou infiltradas pelas fissuras e poros. Esta umidade pode causar a cristalização dos sais solúveis ou expansão de pulverulentos no agregado, exercendo pressões nas interfaces e no interior dos materiais que constituem o revestimento, causando sua desagregação (CHAVES, 2009).

As ações biológicas também influenciam diretamente no surgimento desta patologia. A presença de fungos, algas ou a penetração de raízes de plantas nas fissuras e grandes poros podem encontrar um ambiente propício para seu desenvolvimento. Este processo biológico, além de causar a desagregação por meio das tensões internas geradas, também resulta no ataque químico pela produção de ácidos orgânicos no material (UEMOTO *et al.*, 1995).

A correção desta patologia não implica apenas na remoção de seções da argamassa afetada e substituição por outra de melhor qualidade (teor de cimento adequado, menos porosa). Implica também na intervenção sobre sua causa, principalmente quando esta é pela infiltração de água (capilaridade) devido à falta de impermeabilização de peças estruturais ou ambientes internos.

Esta patologia é causada principalmente pela ascensão capilar da água presente no solo, devido a falta da impermeabilização da viga baldrame, e pela infiltração de água da chuva nas fissuras provocando a cristalização de sais da argamassa. Na Figura 3.3 são apresentados dois exemplos da manifestação de pulverulência.

Figura 3.3 – Ocorrência de pulverulência em revestimento de argamassa (A) ocasionada por ascensão capilar da água do solo e (B) por infiltração da água da chuva nas fissuras



Na Tabela 3.4 são apresentadas as principais causas da ocorrência de pulverulência nos revestimentos em argamassa. A maioria das causas (argamassa porosa, falta de estanqueidade, chuva, cristalização, dentre outros) são motivadas direta ou indiretamente pela presença da água no revestimento.

Tabela 3.4 – Principais causas da ocorrência de pulverulência

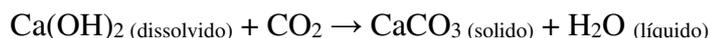
Natureza	Causa
Estrutural	Argamassa muito porosa Falta de estanqueidade de ambientes internos
Ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, baixa incidência solar) Química (oxidação, carbonatação, cristalização de sais) Biológica (micro-organismos, fungos, materiais orgânicos)
Processo (projeto e execução)	Espessura e rigidez da argamassa Dosagem incorreta dos materiais ou uso de materiais não adequados Não respeito ao tempo de execução de serviços Deterioração dos materiais e/ou falta de manutenção Falha de vedação ou defeito que possibilita penetração ou acúmulo de água

### 3.2.4 Eflorescência

A eflorescência ocorre devido a infiltração ou presença de água nos materiais componentes da fachada, ocasionando a lixiviação dos sais solúveis em água (principalmente de cloreto de sódio e hidróxido de cálcio e de magnésio) presentes nos componentes cimentícios para a superfície do revestimento. Neste ponto ocorre a evaporação da água e a cristalização dos sais, formando depósitos salinos esbranquiçados na fachada.

A cristalização destes sais também pode ocorrer no interior dos poros, neste caso é chamado de subflorescência ou criptoflorescência e pode ser mais danoso ao revestimento pois introduz tensões que podem originar a desintegração do material (GONÇALVES *et al.*, 2007). Este caso é de difícil diagnóstico antes que se manifeste a deterioração do material, pois não é possível ser observado na inspeção visual. Vázquez *et al.* (2015) concluiu que a inspeção termográfica é a técnica apropriada para observar e analisar este tipo de patologia.

O mecanismo para formação da eflorescência pode ser descrito pela reação química e processos físicos envolvidos. À medida que o cimento Portland cura, forma-se hidróxido de cálcio que é solúvel em água; quando esta mistura migra para a superfície, o hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono presente no ar para formar carbonato de cálcio (insolúvel em água) e água, que evapora para a atmosfera. Esta reação química é descrita a seguir:



Vários estudos classificam a eflorescência como uma manifestação patológica de mancha (FLORES-COLEN *et al.*, 2008; GASPAR & BRITO, 2008; GASPAR, 2009; FLORES-COLEN, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013), porém, a mancha esbranquiçada é apenas um sintoma de sua ocorrência. Deste modo, esta patologia se enquadraria melhor como uma patologia de desagregação devido a dissolução dos sais da argamassa na superfície.

Inicialmente esta patologia causa apenas alteração estética no edifício, alterando a aparência da superfície do revestimento, porém, se não tratada, ela se tornará mais agressiva causando desagregação de partes do revestimento (CHAVES, 2009). Isto ocorre devido ao aumento da porosidade da argamassa, deixando-a menos resistente aos esforços solicitados, podendo ocasionar mais fissuras e descolamentos.

Allahverdi *et al.* (2015) dizem que para que a eflorescência ocorra são necessários três fatores ocorrendo em conjunto: presença de sais solúveis na argamassa; presença de água para dissolver os constituintes solúveis; e uma força de transporte para conduzir a solução em direção a superfície, a qual pode ser pressão hidrostática, gravidade, ação capilar ou evaporação. Na Tabela 3.5 são apresentadas as principais causas da ocorrência de eflorescência.

Tabela 3.5 – Principais causas da ocorrência de eflorescência

Natureza	Causas
Estruturais	Argamassa muito porosa Falta de estanqueidade de ambientes internos
De ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, evaporação, umidade, capilaridade) Química (cristalização de sais)
Quanto ao processo (execução ou projeto)	Dosagem incorreta dos materiais ou uso de materiais não adequados Deterioração dos materiais e/ou falta de manutenção Falha de vedação ou defeito que possibilita penetração ou acúmulo de água Falhas ou fissuras na fachada

A correção desta patologia consiste na eliminação de um ou mais dos três fatores citados acima (presença de sais, presença de água e força de transporte). O uso de hidrófugos de superfície para eliminar os danos superficiais e proteger o revestimento, frequentemente utilizados para tratar esta patologia, pode transformar as eflorescências em criptoflorescências profundas que tendem a causar a fragmentação dos materiais da alvenaria (GONÇALVES, 2003). Sendo

melhor indicado a substituição do revestimento afetado por uma argamassa com menor teor de cloreto de sódio e menos porosa (GONÇALVES & RODRIGUES, 2010), bem como promover uma melhor estanqueidade dos ambientes internos, quando esta for a fonte da penetração de água no revestimento.

Para que a manifestação desta patologia ocorra deve-se, necessariamente, ter a percolação de água na fachada. Ela é, então, um importante indicador da presença de água, indicando um problema mais grave e frequente nas edificações. Na Figura 3.4 são apresentados exemplos desta manifestação patológica em edifícios de Brasília.

Figura 3.4 – Exemplos da manifestação de eflorescência em edifícios



### 3.2.5 Manchas

As manchas são caracterizadas por alterações na cor, tonalidade ou brilho de uma determinada região do revestimento em contraste com regiões vizinhas, e exercem grande influência na qualidade visual da fachada (GASPAR, 2009). Elas estão frequentemente associadas à presença de umidade no revestimento, e podem contribuir para o agravamento de outras anomalias e acelerar a degradação do material (FLORES-COLEN et al., 2006).

De acordo com Santos (2017) os principais tipos de manchas nos revestimentos em Brasília são ocasionados pela sujidade, umidade e ação de micro-organismos. A sujidade (Figura 2 A) ocorre na deposição de partículas presentes na atmosfera, tais como fuligem e poeira, ou mesmo decorrentes da própria fachada. As manchas por umidade (Figura 2 B) podem ser ocasionadas em decorrência da água do solo, da própria edificação, ou da atmosfera em forma de vapor ou chuva, e geralmente ocorrem em maior incidência nos andares superiores devido a maior molhagem destes em relação aos andares inferiores. As manchas ocasionadas pela ação de

micro-organismos são principalmente causadas pela permanência da umidade, dificuldade de secagem ou falta de incidência solar.

Figura 3.5 – Principais tipos de manchas em fachadas: (A) sujidade; (B) umidade



As manchas podem ser ocasionadas pela ação de diversos agentes de maneira isolada ou combinada. Na Tabela 3.6 são apresentadas as principais causas de acordo com a natureza da ação, cuja forma de classificação foi adaptada do trabalho de Santos (2017). Destacam-se as manchas causadas por umedecimento e pela ação de micro-organismos.

Tabela 3.6 – Principais causas da manifestação de manchas em fachadas (Adaptado de SANTOS, 2017)

Natureza	Causas
Física	Nível de exposição solar Incidência dos ventos predominantes Umedecimento contínuo ou alternado
Química	Presença de sais Poluição/Oxidação
Biológica	Vegetação parasitária Micro-organismos
Processo (projeto e execução) e utilização	Deficiência ou ausência de detalhamentos construtivos Falhas ou fissuras na fachada Geometria da fachada (zonas planas, com saliências, etc.) Características da superfície dos revestimentos (porosidade, rugosidade, etc.) Ações de manutenção deficientes ou sua ausência Dosagem ou preparo inadequado da argamassa Ação humana (vandalismo, instalação de aparelhos, plantações, etc.)

### 3.2.6 Patologias das pinturas

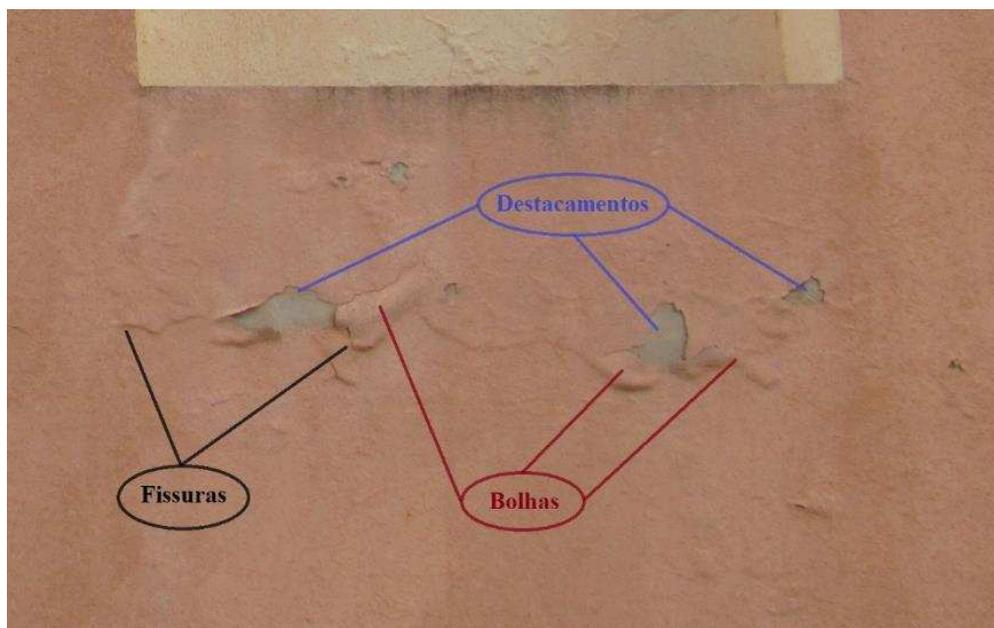
A pintura desempenha um papel importante como revestimento externo e é um dos revestimentos mais usados em todo mundo. Alguns estudos que abordam especificamente as patologias típicas das pinturas, apontando estas anomalias como responsáveis por catalisar o processo de degradação dos componentes (GARRIDO, 2010; MARQUES, 2013).

Problemas no sistema de pinturas são muito comuns e representam grande impacto visual sobre a edificação. De acordo com Eusébio & Rodrigues (2005) as patologias nas pinturas podem ser causadas por fatores que vão desde a fase de projeto até após o fim da vida útil da edificação. A deterioração natural ou prematura das superfícies pintadas leva a diversos defeitos que, se devidamente identificados e tipificados, permitem quantificar a degradação total do edifício (CHAI *et. al.*, 2014).

As manifestações patológicas, ocorrem de duas maneiras: na interface da película com o substrato de aplicação ou na própria película de pintura, e são ocasionados por uma combinação de fatores. As manifestações mais comuns da pintura são o destacamento, a fissuração e as anomalias como bolhas, enrugamento e desbotamento na película de pintura (PEREIRA *et al.*, 2003).

Dentre as patologias mencionadas sobressaem-se as apresentadas na Figura 3.6, sendo elas o destacamento, a fissuração e a criação de bolhas na superfície da película de pintura as mais comumente observadas na região de estudo.

Figura 3.6 – Falhas de destacamentos, fissuras e bolhas em pinturas sobre argamassa



Na Tabela 3.7 são apresentadas as principais causas das patologias na pintura de acordo com a natureza de sua ocorrência, e estão ligadas às condições de aplicação ou a erros de execução. Tomamos como exemplo uma situação em que a tinta foi aplicada em uma base úmida, suja e sem a adequada preparação, teremos então que a aderência da tinta à sua base será reduzida, podendo ocasionar a formação fissuras e bolhas.

Tabela 3.7 – Principais causas da ocorrência manifestações patológicas em pinturas

Natureza	Causa
Ações naturais	Física (efeitos do vento e da chuva, variação térmica/umidade) Química (oxidação, chuva ácida) Biológica (vegetação, fungos, insetos, etc.)
Processo (projeto e execução)	Tipo de tinta inadequada para o ambiente Inadequada preparação do substrato Substrato muito poroso ou muito liso Aplicação sobre substrato úmido ou insuficientemente curado Tinta com baixa flexibilidade em substrato com variação dimensional elevada

### 3.3 CORRELAÇÃO ENTRE CAUSAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Objetivando pontuar as possíveis causas e seus graus de importância no surgimento de cada patologia, Silvestre (2005) e Pires *et al.* (2015) formularam um procedimento em que é possível identificar, através de uma matriz, a correlação entre a ocorrência das patologias e suas possíveis causas. Os índices utilizados nesta matriz representam as causas diretas (índice 2) e indiretas (índice 1) na ocorrência das patologias estudadas por estes autores; além do índice 0, representando a não existência de relação entre as causas e as patologias.

Este procedimento foi adaptado e utilizado por Flores-Colen (2009) e Gaspar (2009) modificando a representação dos índices para designar uma possível correlação (índice 1) e uma correlação forte (índice 2), além do índice 0. Na Tabela 3.8 é apresentado uma síntese das principais causas na ocorrência de 11 tipos de manchas estudadas por Flores-Colen *et al.* (2005).

Tabela 3.8 – Matriz de correlação entre as manchas e causas possíveis (Adaptado de Flores-Colen *et al.*, 2005)

Causas	Manchas existentes na superfície em decorrência de:										
	Eflorescências	Carbonatação	Sujidade	“Fantasmas”	Umidade	Fungos	Vegetação parasitária	Corrosão	Alterações cromáticas	Grafite	Dejetos de aves
Deficiência construtiva	1	2	2	0	2	2	2	1	1	0	2
Geometria da fachada	1	0	2	1	2	1	2	0	1	0	2
Características da superfície	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0
Isolamento térmico deficiente	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0
Ação de água com sais solúveis	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Preparação da argamassa	1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Estado do suporte	2	2	1	2	2	0	0	1	2	0	0
Condições climáticas na aplicação	2	2	0	2	2	0	0	0	2	0	0
Desrespeito das etapas de aplicação	0	1	0	2	1	0	0	0	2	0	0
Ação humana	0	0	2	0	1	0	0	1	2	2	0
Ação animal	0	0	2	0	0	1	1	2	2	0	2
Ações de manutenção deficientes	2	1	1	0	2	2	2	2	2	2	1
Fraca exposição solar	0	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0
Umedecimento contínuo	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0
Poluição atmosférica	2	2	2	2	0	2	2	2	1	0	0
Ação dos ventos	1	1	2	1	2	2	2	1	0	0	0

As patologias identificadas no revestimento em argamassa podem ocorrer isoladamente ou de forma conjunta, ou seja, quando em uma região ocorre a manifestação de duas ou mais patologias. Este fato pode ocorrer pelo agravamento causado pela inter-relação entre algumas patologias. Exemplifica-se usando o caso das fissuras, as quais podem ocorrer de forma isolada, ou servindo como caminho para infiltração de água no revestimento, levando ao surgimento na mesma região de outras patologias como pulverulência, eflorescência e mancha.

### 3.3.1 Matriz inter-patologias

Através da matriz de correlação entre as causas prováveis e manifestações patológicas é possível determinar o índice de correlação inter-patologias. Este índice foi definido por Brito (1992) e pode ser obtido pela equação 3.1, apresentada abaixo:

$$CI_{kj} = \sum_{i=1}^N c_{ki} \times c_{ji} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

$CI_{kj}$ : representa o índice de correlação entre as patologias  $k$  e  $j$ ;

$N$ : o número total de causas prováveis;

$c_{ki}$ : índice de determinada causa (matriz de correlação causa/patologia) da patologia  $k$ ;

$c_{ji}$ : índice de determinada causa (matriz de correlação causa/patologia) da patologia  $j$ .

Na Tabela 3.9 é apresentado o exemplo da matriz de correlação inter-patologias obtida pela aplicação da equação 3.1 de acordo com a matriz apresentada na Tabela 3.8.

Tabela 3.9 – Exemplo da matriz de correlação inter-patologias

	Eflorescências	Carbonatação	Sujidade	“Fantasmas”	Umidade	Fungos	Vegetação parasitária	Corrosão	Alterações cromáticas	Grafite	Dejetos de aves
Eflorescências	-	27	22	22	26	21	22	16	26	8	6
Carbonatação	27	-	21	23	25	20	20	15	26	6	5
Sujidade	22	21	-	22	29	29	28	21	24	10	13
“Fantasmas”	22	23	22	-	28	21	16	11	21	4	2
Umidade	26	25	29	28	-	26	24	15	26	10	10
Fungos	21	20	29	21	26	-	27	18	17	8	10
Vegetação parasitária	22	20	28	16	24	27	-	18	18	8	12
Corrosão	16	15	21	11	15	18	18	-	17	6	8
Alterações cromáticas	26	26	24	21	26	17	18	17	-	12	10
Grafite	8	6	10	4	10	8	8	6	12	-	2
Dejetos de aves	6	5	13	2	10	10	12	8	10	2	-

Entretanto, Brito (1992) alertou que este índice de correlação inter-patologias não é esclarecedor o suficiente, devendo ser utilizado com precaução, pois:

- O valor absoluto do índice não tem significado físico para o utilizador;
- Sua análise através da matriz de correlação nos mostra que todas as patologias estão relacionadas entre si, porém não é claro que o respectivo grau de correlação seja verdadeiro;
- O valor absoluto mais baixo em alguns casos pode, na realidade, identificar uma patologia com maior probabilidade de ocorrência simultânea do que a que foi detectada com um índice maior.

Deste modo, a fim de minimizar estes erros, torna-se necessário estabelecer uma correlação percentual entre as patologias, tornando a matriz de correlação assimétrica. Uma vez que, a

probabilidade de ocorrência simultânea de determinada patologia  $k$  em relação a patologia  $j$  não é obrigatoriamente a mesma em relação inversa.

Para determinar este novo índice, deve-se multiplicar por dois todos os índices de correlação de causa provável / manifestação de determinada patologia a fim de obter o índice de correlação teórico máximo, dado pela equação:

$$I_{Mk} = \sum_{i=1}^N (c_{ki} \times 2) \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

$I_{Mk}$ : índice de correlação teórico máximo de determinada patologia  $k$ ;

$N$ : número total de causas prováveis;

$c_{ki}$ : índice de determinada causa (matriz de correlação causa/patologia) da patologia  $k$ .

A Figura 3.7 apresenta a forma de aplicação da equação 3.2 na matriz apresentada na Tabela 3.8. De acordo com a equação, o  $I_{Mk}$  para a eflorescência pode ser calculado como o somatório dos índices das causas desta patologia multiplicado por dois, sendo igual a 36.

Figura 3.7 – Exemplo de aplicação da Equação 3.2

Causas	Manchas existentes na s				
	Eflorescências	Carbonatação	Sujidade	“Fantasmas”	Umidade
Deficiência construtiva	1	2	2	0	2
Geometria da fachada	1	0	2	1	2
Características da superfície	2	2	2	2	2
Isolamento térmico deficiente	0	0	1	2	2
Ação de água com sais solúveis	2	0	0	0	0
Preparação da argamassa	1	2	0	0	0
Estado do suporte	2	2	1	2	2
Condições climáticas na aplicação	2	2	0	2	2
Desrespeito das etapas de aplicação	0	1	0	2	1
Ação humana	0	0	2	0	1
Ação animal	0	0	2	0	0
Ações de manutenção deficientes	2	1	1	0	2
Fraca exposição solar	0	0	1	2	1
Umedecimento contínuo	2	2	2	2	2
Poluição atmosférica	2	2	2	2	0
Ação dos ventos	1	1	2	1	2

$$I_{Mk} = 18 \times 2 = 36$$

Por fim, o índice de correlação teórico percentual de ocorrência da patologia  $k$  com a patologia  $j$  é dado pela determinação da porcentagem do **índice de correlação real** entre as duas patologias ( $CI_{kj}$ ) em relação ao **índice de correlação teórico máximo** da patologia  $k$  ( $I_{Mk}$ ), conforme a equação:

$$CI_{\%kj} = \frac{CI_{kj}}{I_{Mk}} \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

$CI_{\%kj}$ : índice de correlação teórico percentual da entre a patologia  $k$  com a patologia  $j$ ;

$CI_{kj}$ : índice de correlação entre as patologias  $k$  e  $j$ ;

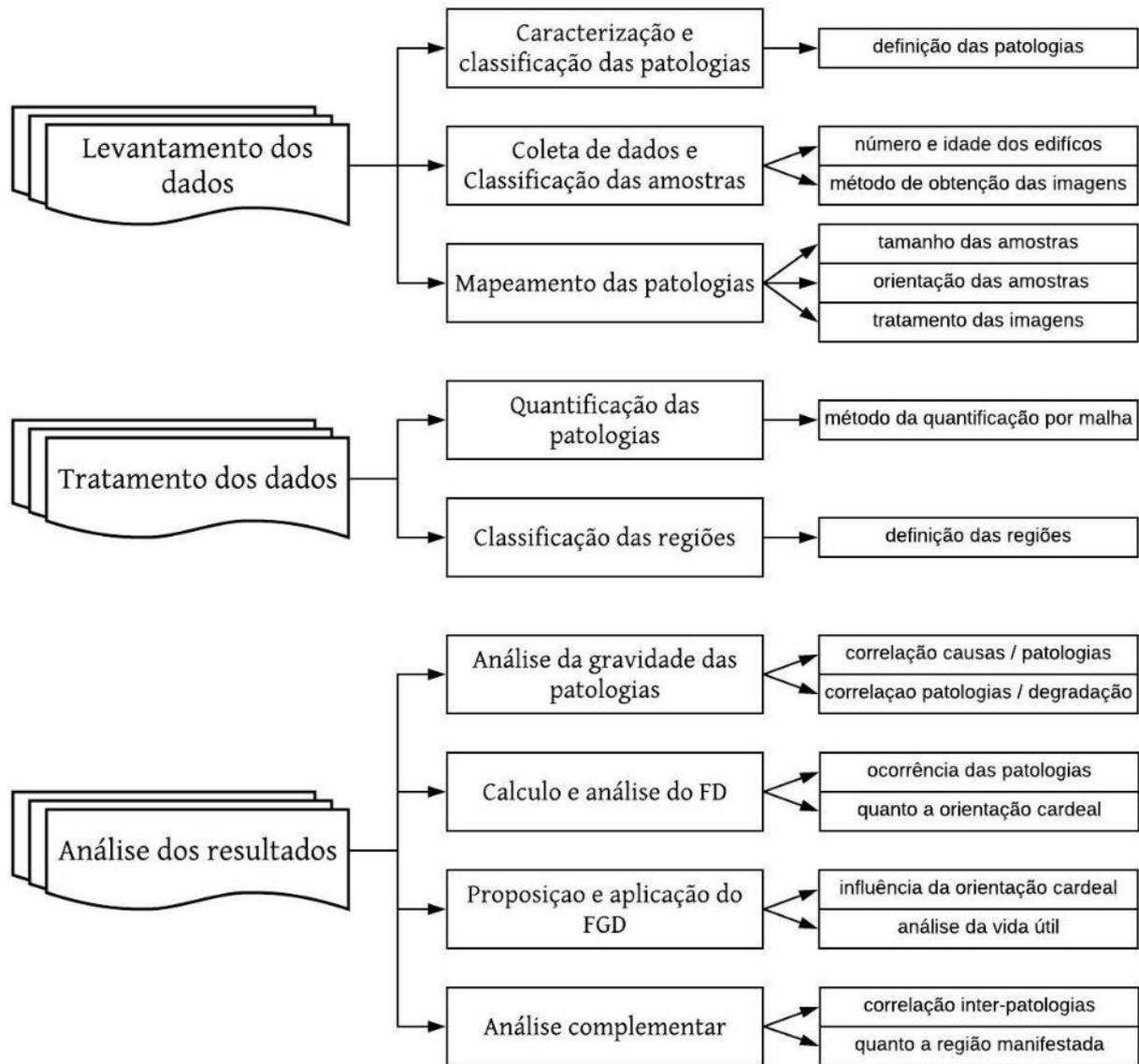
$I_{Mk}$ : índice de correlação teórico máximo de determinada patologia  $k$ .

#### **4. METODOLOGIA**

A metodologia adotada nessa pesquisa propõe uma abordagem que permita estudar os principais aspectos associados ao surgimento e à evolução do processo de degradação das fachadas com revestimentos em argamassa. Neste sentido, essa pesquisa tem como base a metodologia apresentada por Silva (2014) e posteriormente utilizada e consolidada por Pinheiro (2016) e Souza (2016), que quantificam a degradação através de inspeções. Estas pesquisas analisaram o perfil de degradação de fachadas com revestimento cerâmico em Brasília. Entretanto, no presente estudo, propõe-se uma adaptação que permita quantificar a degradação em fachadas compostas de revestimento em argamassa e acabamento com pintura.

A presente pesquisa pode ser dividida em três etapas (levantamento de dados, tratamento dos dados e análise dos resultados) que abordam as cinco fases do MMD, descritas anteriormente. Na Figura 4.1 é apresentada uma esquematização do procedimento metodológico proposto.

Figura 4.1 – Esquema do procedimento metodológico proposto



De forma a desenvolver a pesquisa, definiram-se as variáveis independentes como: definição das patologias, quantidade de edifícios e suas idades, tamanho e orientação das amostras, bem como o conjunto de suas regiões. De posse destas obtém-se como variáveis dependentes o fator de danos (FD), a distribuição das patologias, o FD por regiões, o fator geral de degradação e os valores característicos da degradação. As condições fixas destas variáveis são o próprio universo de edifícios no plano piloto de Brasília-DF, a tipologia construtiva destes edifícios e o revestimento em argamassa e pintura.

#### 4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

A escolha das edificações para o estudo de caso foram os edifícios residenciais, com estrutura em concreto armado, com fachadas composta por blocos cerâmicos e revestimento em argamassa, na cidade de Brasília-DF. Os edifícios escolhidos para o estudo apresentam patologias visíveis, que não foram encobertas por reformas recentes à data de obtenção das imagens.

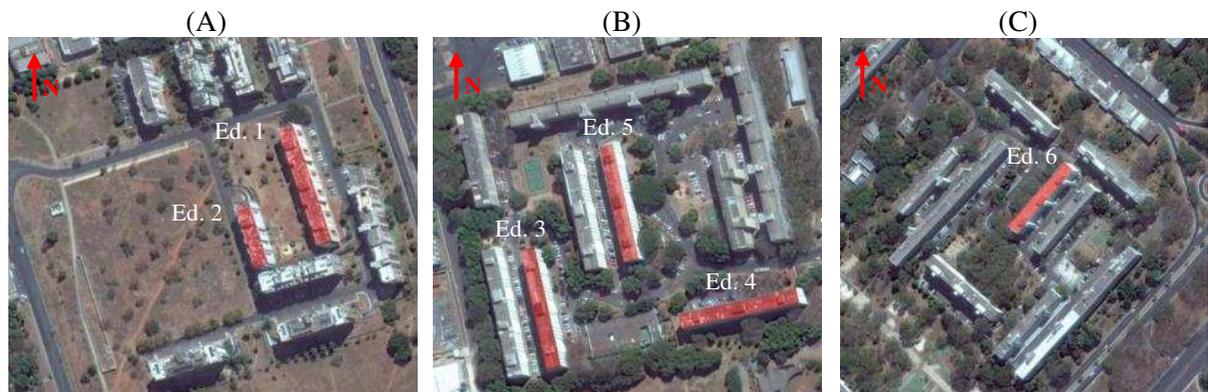
Brasília possui muitos edifícios antigos, com idade aproximada à inauguração da cidade. Isso se dá pelo fato de Brasília ter sido implantada para ser a capital do Brasil nos anos de 1960, em que grande parte das edificações tiveram suas construções iniciadas. Desta forma, no que diz respeito aos edifícios residenciais situados no plano piloto, observa-se uma uniformidade de projetos, seguindo uma mesma tipologia construtiva.

Assim, os edifícios em foco nesta pesquisa possuem mesma tipologia, os quais em sua maioria tem entre 3 e 6 pavimentos, apresentando prumadas com grande extensão, com muitos elementos arquitetônicos que se repetem ao longo da fachada, geralmente estes edifícios estão afastados dos edifícios vizinhos. Esta uniformidade dos edifícios padroniza também a ação dos agentes de degradação como a incidência solar direta ou até mesmo a ação da chuva dirigida nas fachadas.

Selecionou-se seis edifícios residenciais, que se adequam aos requisitos da pesquisa (tipologia, sistema de revestimento e idade) e localizados no plano piloto de Brasília. A área de fachada inspecionada totaliza mais de 10.500 m<sup>2</sup>, distribuídos em 60 amostras; quantidade suficiente para as análises pretendida. É mostrada a localização destes edifícios na Figura 4.2.

Os edifícios selecionados possuem entre 3 e 6 pavimentos com revestimento, predominantemente, em argamassa e com acabamento em pintura. Algumas amostras apresentaram composições com mais de um tipo de sistema de revestimento (cerâmico, elemento vazado, pedras naturais, dentre outros), porém estas regiões não foram consideradas neste estudo. Somente foram consideradas as regiões de fachada revestidas em argamassa e acabamento em pintura.

Figura 4.2 – Edifícios selecionados para esta pesquisa: (A) edifícios 1 e 2; (B) edifícios 3, 4 e 5; e (C) edifício 6 (Adaptado de Google Maps)



#### 4.1.1 Caracterização e classificação das patologias

Conforme explicado no tópico 2.2, o processo de degradação é influenciado por diversos fatores devido às condições externas à quais o edifício está exposto (clima, vizinhança etc.), bem como às 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.

Na coleta dos dados e mapeamento das patologias foram encontradas aquelas que são características na região de Brasília, conforme classificadas no tópico 3.1 e expostas no tópico 3.2. Estas patologias estão denominadas conforme a Tabela 4.1 em que são divididas em dois grupos, conforme a camada manifestada, sendo eles:

- **Patologias da argamassa:** neste grupo estão dispostas todas as patologias manifestadas ou causadas devido material da camada do revestimento, argamassa (descolamento, fissuração, pulverulência, eflorescência e manchas);
- **Patologias da pintura:** neste grupo estão as patologias manifestadas no acabamento em pintura, sendo esperadas as de descolamento e fissuração da película, e a formação de bolhas.

Tabela 4.1 – Classificação e denominação das patologias propostas

<b>Camada manifestada</b>	<b>Patologias</b>	<b>Denominação</b>
Patologias da argamassa	Descolamento	De.A
	Fissuração	Fi.A
	Pulverulência	Pu.A
	Eflorescência	Ef.A
	Manchas	Ma.A
Patologias da pintura	Descolamento	De.P
	Fissuração	Fi.P
	Bolhas	Bo.P

Realizou-se um estudo das possíveis causas dos surgimentos das patologias, objetivando pontuar a importância destas patologias de acordo com suas causas. Para isto, empregou-se o procedimento utilizado por Flores-Colen (2009) e Gaspar (2009) criando uma matriz de correlação, definindo possíveis causas de ocorrência das patologias e atribuindo os índices (0, 1 e 2) de acordo com a influência da causa na patologia analisada. Este procedimento é apresentado na seção 3.3 desta dissertação.

De maneira semelhante, foi proposto criar outra matriz na qual analisa-se a correlação de cada patologia na queda de desempenho do edifício. Para isto, as patologias em análise são classificadas de acordo com três abordagens de desempenho, sendo: estrutura; estanqueidade; e estética.

#### **4.1.2 Coleta de dados e classificação das amostras**

A coleta de dados pode ser dividida em três etapas, que são a investigação documental, o planejamento e a inspeção em campo. Na primeira etapa (investigação documental) são pesquisados os possíveis dados documentais de cada edifício previamente selecionados. Estes dados devem conter principalmente idade e características construtivas destes edifícios.

A Segunda etapa consistiu em planejar a inspeção dos edifícios. Para isto, primeiramente as fachadas foram diferenciadas em empenas e prumadas. As empenas são definidas como as fachadas laterais de um edifício, geralmente em menor dimensão de área, já as prumadas como a linha de fachadas frontais ou posteriores de uma construção. Na Figura 4.3 é apresentado como as fachadas são classificadas nessa categoria (prumada e empena).

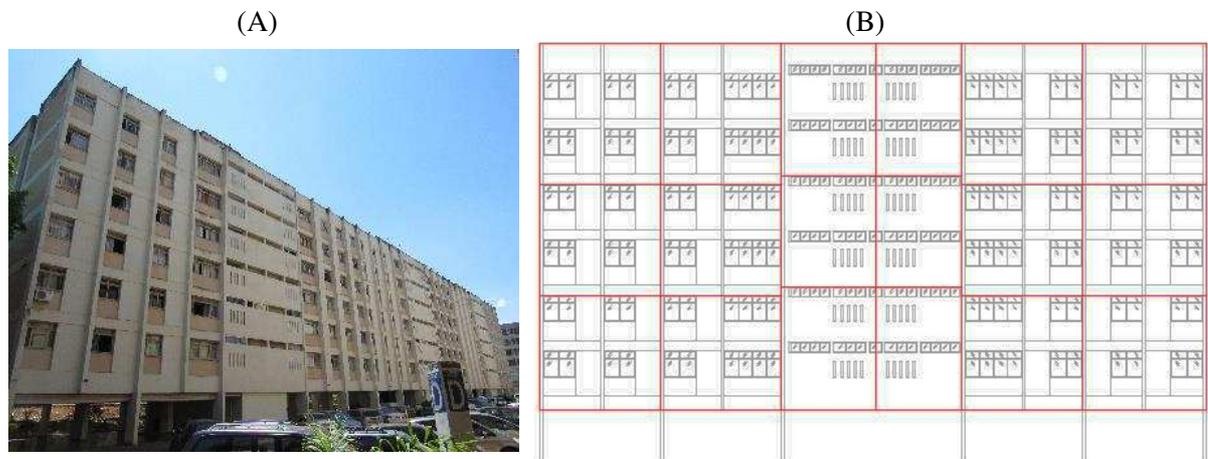
Figura 4.3 – Identificação da prumada e empena de um edifício.



Posteriormente foram obtidas fotos enquadrando todas as fachadas (prumadas e empenas) dos prédios escolhidos para realizar a inspeção (Figura 4.4 A). Estas imagens foram utilizadas para se conceituar a arquitetura dos edifícios, bem como se ter ideia dos objetos externos (árvores, postes, etc) localizados em sua envoltura. Também foram adquiridas algumas medidas, como a extensão das fachadas, aberturas e demais elementos que auxiliem na realização do desenho esquemático da fachada (Figura 4.4 B) dos edifícios em que não foram obtidos os projetos.

Por fim, foi realizado o planejamento das áreas para obtenção das imagens, contemplando enquadramentos menores da fachada com resolução e tamanho suficientes que permitam a detecção e visualização das patologias. Um exemplo pode ser observado na Figura 4.4 B em que as margens em vermelho delimitam a região de obtenção de cada imagem.

Figura 4.4 – Segunda etapa da coleta de dados. (A) Imagem da fachada; (B) Desenho esquemático da fachada com divisão dos enquadramentos para cada imagem.



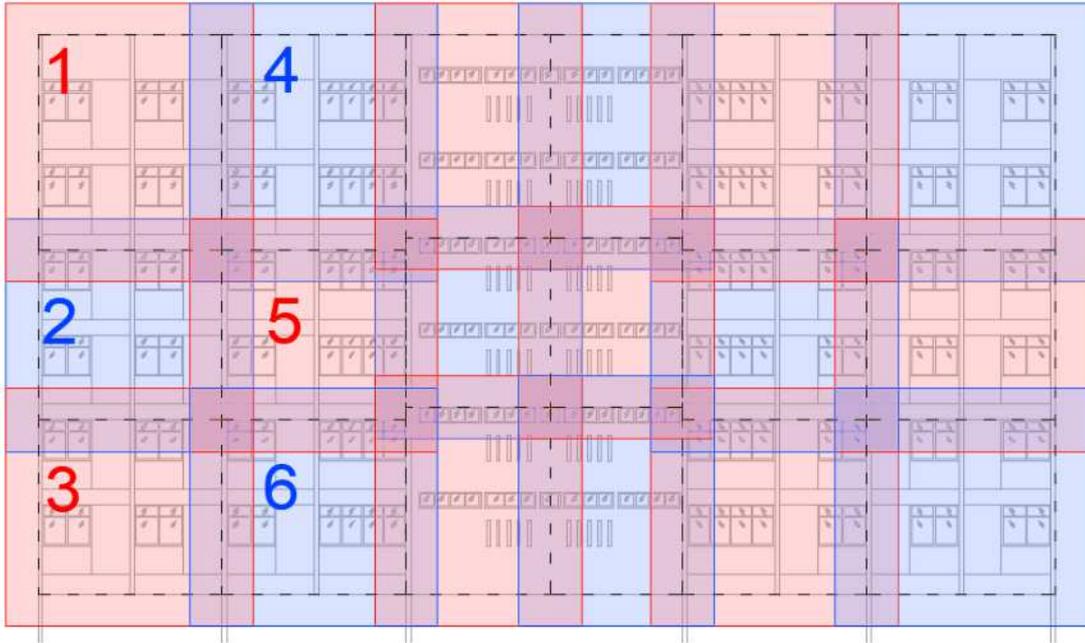
A terceira etapa da coleta de dados consistiu na realização da inspeção visual e registro fotográfico dos edifícios. Toda a área representativa da fachada, que se encaixe no requisito de revestimento em argamassa e acabamento em pintura, possui registro fotográfico, incluindo regiões de recuo ou avanço da fachada, como por exemplo as regiões das caixas de escada dos edifícios.

A aquisição das imagens seguiu a ordem de cima para baixo e da esquerda para a direita, contendo uma sobreposição das regiões delimitadas (Figura 4.5) no planejamento realizado anteriormente. Esta sobreposição foi realizada para melhor compreensão das regiões afetadas por possíveis patologias próximas ao limite do enquadramento e para minimizar possíveis distorções apresentada nas extremidades das fotos.

Sempre que possível, as imagens de um mesmo plano foram obtidas a partir do mesmo ponto referencial. Porém nem sempre esta solicitação foi possível, devido a presença de árvores ou outros objetos que dificultaram a obtenção das imagens neste mesmo ponto. Nestes casos as imagens podem ter sido obtidas a partir de posições referenciais distintas.

Na Figura 4.5 é apresentado um esquema dos registros fotográficos de uma fachada. Nesta figura cada região (em vermelho e azul) representa uma imagem da região delimitada na etapa anterior (linha tracejada). Percebe-se também neste esquema a sobreposição das imagens de cada foto.

Figura 4.5 – Esquema de obtenção das imagens de um edifício



A obtenção das imagens foi realizada em horários em que o sol não incidia diretamente sobre a fachada, pois esta incidência direta pode resultar em imagens com contraste inadequado, dificultando a análise das patologias. Na Figura 4.6 (A) é apresentada uma imagem onde não há incidência direta do sol na fachada e na Figura 4.6 (B) é apresentada uma imagem, da mesma fachada, que sofreu esta incidência. Percebe-se que a imagem (B), afetada pela incidência solar, apresenta sombreamento de elementos arquitetônicos e elementos externos (árvore) causando um forte contraste, dificultando a visualização das patologias.

Figura 4.6 – Fotos de uma fachada, obtidas em horários diferentes. (A) Foto sem incidência direta do sol; e (B) Foto com incidência solar direta

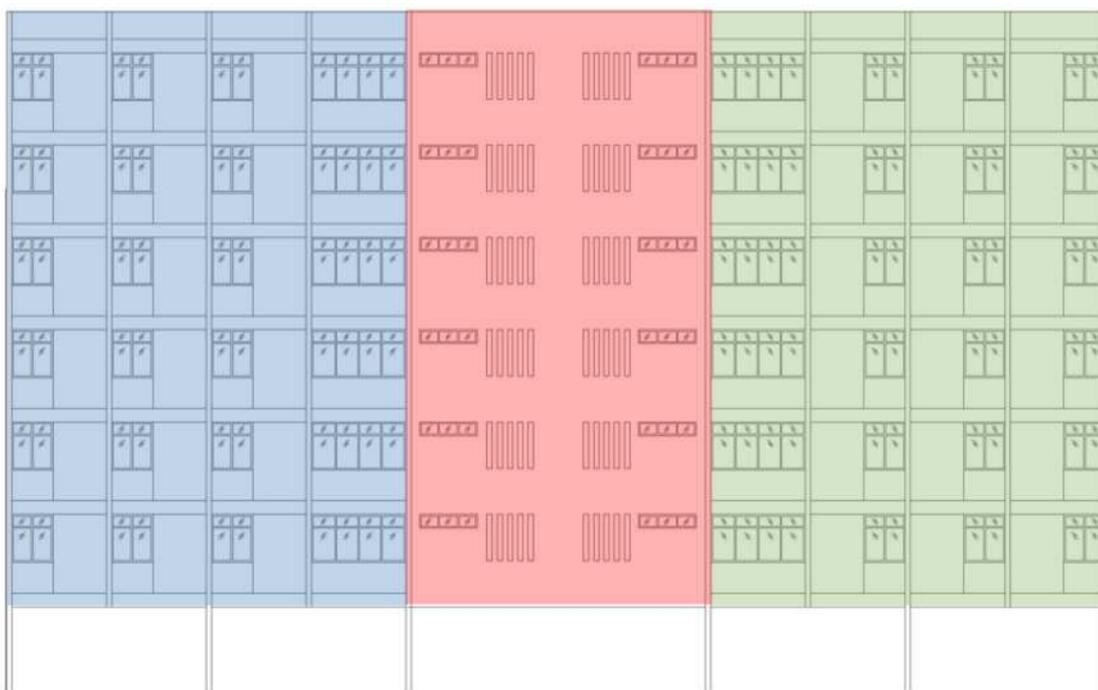


### 4.1.3 Mapeamento das patologias

Antes da realização do mapeamento é feita a divisão das fachadas (empenas e prumadas) em amostras. Estas divisões são realizadas para facilitar a análise e, geralmente, ocorrem contemplando regiões em que se repetem ou se espelham no restante da fachada.

Como o cálculo dos índices de degradação levam em conta a área de anomalias e a área total da amostra, áreas totais muito grandes ou pequenas podem levar a resultados não representativos do dano. Desta forma, são delimitadas amostras em que a área seja de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>. Pinheiro (2016) demonstrou que em um mesmo edifício os resultados do MMD (FD e FGD) podem variar em mais de 30%, apenas aumentando ou reduzindo o tamanho das amostras. A Figura 4.7 exemplifica a divisão das amostras consideradas para um edifício, em que cada cor representa uma amostra diferente para a mesma prumada.

Figura 4.7 – Exemplo da divisão de amostras de uma fachada



Os seis edifícios analisados totalizaram em 60 amostras. Na Tabela 4.2 é apresentada a quantidade de amostras de cada edifício, dispostos quanto às suas orientações cardeais.

Tabela 4.2 – Relação das quantidades de amostras

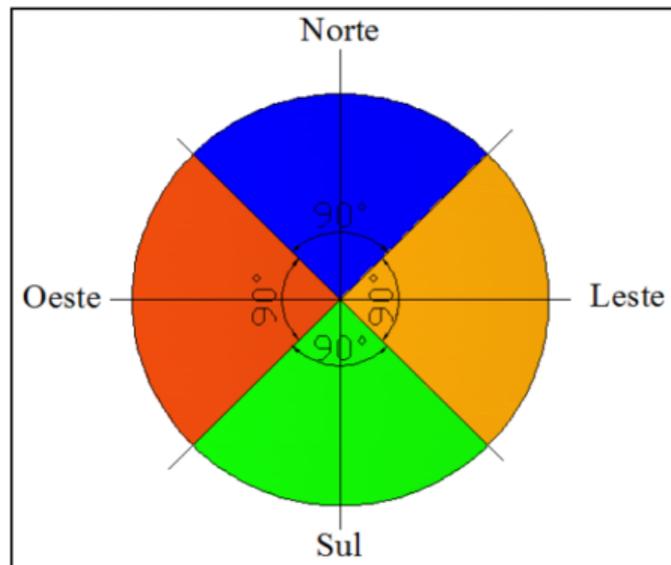
Identificação	Idade	Quantidade de amostras				Total
		N	S	L	O	
Ed. 1	17	1	1	6	6	14
Ed. 2	17	1	1	3	3	8
Ed. 3	43	1	1	7	7	16
Ed. 4	43	3	3	1	1	8
Ed. 5	43	1	1	3	3	8
Ed. 6	44	3	3	-	-	6
<b>Total</b>		10	10	20	20	60

De forma a sistematizar o banco de dados, foi atribuído um código de identificação para cada amostra, que é composto por três trechos separados por pontos. O primeiro trecho se refere à identificação do edifício, contados sequencialmente de acordo com a data de inspeção (A1, A2, A3, ...). O segundo identifica se a amostra está na prumada ou na empena e dá a sua orientação. E a terceira parte dá o número da amostra sequencialmente, cuja contagem é reiniciada a cada prumada ou empena. Desta forma, tomamos como exemplo uma amostra denominada A3.PL.5, que pertence ao edifício 3 (Tabela 4.2), sendo esta a quinta amostra da prumada Leste.

As orientações cardeais das amostras foram classificadas a partir de localização obtida do Google Maps, apresentada na Figura 4.2. São definidos quatro quadrantes, balizados pelos azimutes, para determinar as principais orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste) das fachadas. Esta forma de classificação, ilustrada na Figura 4.8, é utilizada por diversos pesquisadores como Garrido *et al.* (2012), Silva (2014) Pinheiro (2016) e Souza (2016), de forma que é considerada:

- Orientação Norte: compreendida entre os azimutes 315° e 44°;
- Orientação Leste: compreendida entre os azimutes 45° e 134°;
- Orientação Sul: compreendida entre os azimutes 135° e 224°; e
- Orientação Oeste: compreendida entre os azimutes 225° e 314°.

Figura 4.8 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras (Silva, 2014)



### **Tratamento das fotografias obtidas**

As fotografias obtidas foram tratadas para facilitar e melhorar a representação e a quantificação das patologias no mapeamento. Esta manipulação foi realizada utilizando o programa Adobe Photoshop® CC 2017, executando os passos a seguir:

- A imagem contendo o desenho esquemático do edifício foi importada para o programa, em que foram marcadas as delimitações das fotos, conforme apresentado anteriormente na Figura 4.4 (B).
- Então as fotos desta região foram abertas, também no programa, e foi usada a função “correção de perspectiva” em cada foto, a fim de obter uma ortogonalidade da imagem, que se assemelhe ao desenho esquemático da fachada.
- As fotos, depois de corrigidas suas perspectivas, foram sobrepostas ao desenho esquemático da fachada (Figura 4.4 B) e colocadas na mesma escala deste desenho.

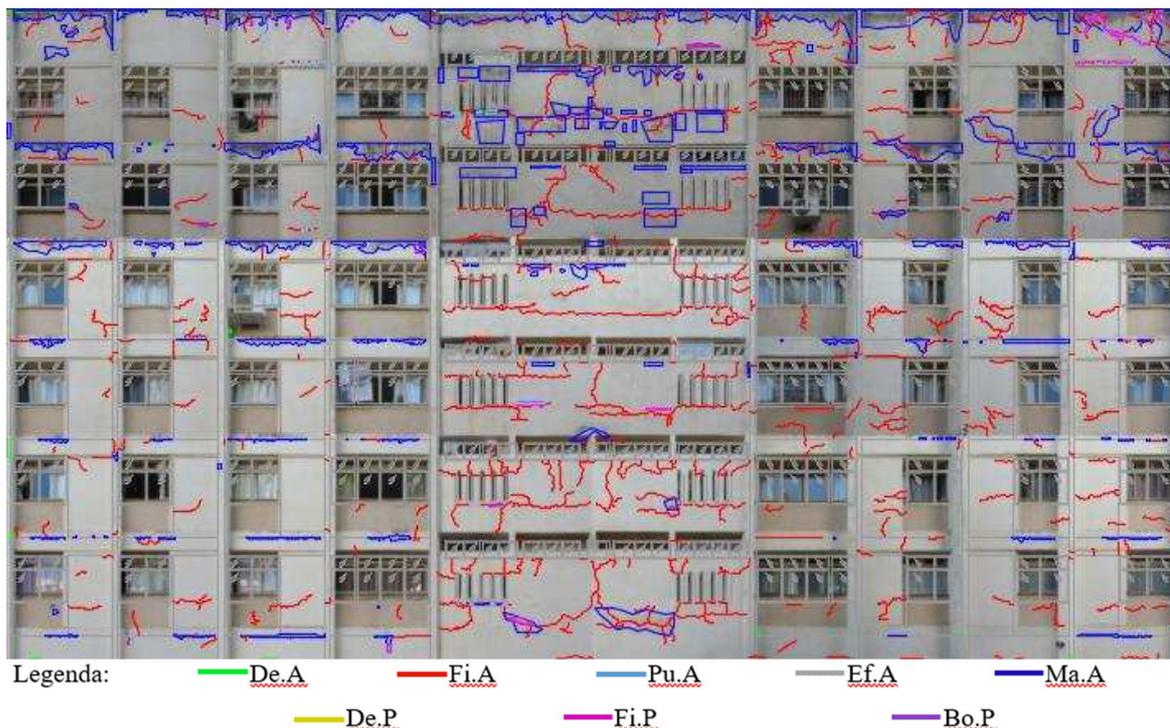
Ao final deste processo, foi obtida uma imagem da fachada ortogonalizada, semelhante ao desenho da fachada do edifício. Esta imagem, apresentada na Figura 4.9, possui resolução suficiente para permitir visualização e detalhamento adequado das patologias.

Figura 4.9 – Fachada ortogonalizada de um edifício



Finalmente, após estas etapas, foram realizados os mapeamentos das manifestações patológicas visíveis na fachada. As imagens ortogonalizadas, resultantes do processo anterior, foram exportadas para o programa AutoCad® versão 2017, e sobrepostas ao desenho esquemático da fachada. Então as patologias, descritas no item 3.2, foram desenhadas utilizando camadas de cores diferentes, sobrepostas à imagem ortogonalizada. Pode-se visualizar o desenho das manifestações patológicas na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Mapeamento das manifestações patológicas



## 4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

As amostras foram tratadas a partir de duas linhas de processo para a quantificação preliminar dos danos nas fachadas. Sendo elas: Quantificação das patologias; e identificação das regiões em que elas ocorrem.

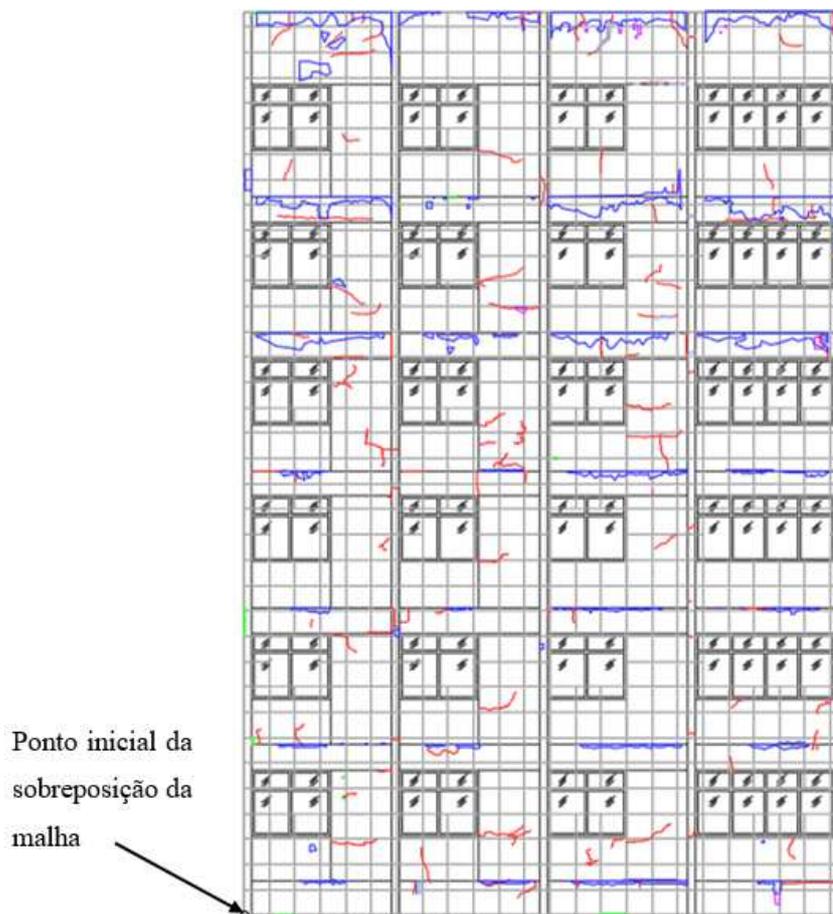
### 4.2.1 Quantificação das patologias

Após o mapeamento das patologias, foi realizada a contabilização das áreas degradadas. Para isto o MMD utiliza-se da sobreposição de malha, conforme estabelecido por Silva (2014) e utilizado por Pinheiro (2016) e Souza (2016). Esta se baseia na sobreposição de uma malha de dimensões de 0,50 m x 0,50 m, equivalente a 0,25 m<sup>2</sup>, sobre as amostras. Definindo assim a área de influência das patologias, como exemplo a fissura que não deve ser contabilizada apenas como uma linha. A dimensão das unidades da malha foi definida de acordo com um estudo realizado por Silva (2014), em que várias dimensões de malha foram verificadas, identificando-se a dimensão adotada (0,50 x 0,50 m) como adequada ao estudo.

Foi definido, como ponto inicial da amostra, o ponto inferior esquerdo (Figura 4.11). Em seguida, realizada a contagem das unidades de malha em que esteja presente algum tipo de

patologia. O valor encontrado, multiplicado pela área de cada unidade de malha (0,25 m<sup>2</sup>), fornece a área afetada por cada patologia.

Figura 4.11 – Representação do critério de sobreposição da malha em uma amostra



#### 4.2.2 Classificação das regiões

Em seguida, foi realizada a divisão da amostra por andares e por regiões que compõem a fachada. As diversas regiões das fachadas apresentam processo de degradação diferenciado em virtude de fatores como a forma de exposição, dimensão da área, elementos arquitetônicos ou estruturais, dentre outros que podem influenciar no desempenho dos elementos da fachada (SOUZA, 2016).

Estas regiões, definidas no item 2.3.2 desta dissertação, estão dispostas em: Sacadas (SC); Aberturas (AB); Cantos e extremidades (CE); Transição entre pavimentos (TP); Topo (TO); e Paredes contínuas (PC).

### **4.3 MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO**

A etapa posterior à obtenção e consolidação do banco de dados se baseou no estudo e mensuração da degradação. Primeiramente foi calculado e analisado o FD, em seguida proposta uma forma de obtenção do FGD e sua aplicação, e por último feita a análise da vida útil através da curva de degradação (FGD x Tempo).

#### **4.3.1 Cálculo e análise do Fator de Danos (FD)**

O resultado do FD, obtido pela equação 2.1, é importante por ser um balizador dos estudos de degradação. Este índice nos informa a frequência de incidência da degradação, porém sem levar em conta a gravidade da mesma. Neste estudo, analisa-se a ocorrência das patologias, a fim de determinar quais são as mais ocorrentes no sistema de revestimento abordado.

Outra importante análise abordada neste tema é quanto a influência da orientação cardeal no resultado do FD, de modo a se verificar a influência quanto a exposição aos agentes climáticos (radiação solar, umidade relativa, chuva dirigida, etc), visto a importância destes agentes na degradação da fachada.

#### **4.3.2 Proposição e aplicação do Fator Geral de Danos (FGD)**

Diferentemente do FD, o FGD estabelece uma relação entre a gravidade da patologia manifesta e sua influência na degradação da fachada. O FGD é utilizado para desenvolver modelos de curvas de evolução da degradação, usadas como uma forma de estudar a vida útil das fachadas.

Para isto, de acordo com a equação 2.5, o FGD considera dois pesos no cálculo da degradação: um referente à ponderação da patologia em função de seu nível de condição ( $K_n$ ) e a constante de ponderação relativa à importância das patologias ( $K_{cn}$ ). Estas constantes vinham sendo usadas (SILVA, 2014, PINHEIRO, 2016 e SOUZA, 2016) no estudo de fachadas com revestimento cerâmico, porém como o alvo de estudo desta pesquisa é outro tipo de revestimento (em argamassa) e, conseqüentemente, outras patologias, estas constantes de ponderação devem ser reestruturadas.

A constante  $K_n$  representa o nível de condição da degradação, estabelecendo uma escala de degradação das patologias conforme a extensão de sua manifestação. A sequência de análises a qual este estudo seguiu para definição dos critérios desta constante, estrutura-se da seguinte forma:

- Obtêm-se os índices do Fator de Danos (FD) de cada amostra dos edifícios estudados;
- Identifica-se a distribuição do FD para cada patologia, apresentando o resultado em histogramas com a distribuição de frequências acumuladas;
- Definem-se os valores característicos para as frequências acumuladas de referência (50, 80 e 90%), conforme estabelecido por Souza (2016);
- Classificam-se as faixas que compõem os níveis de condição (K) em no máximo quatro faixas; e
- Propõem-se os intervalos do FD para compor cada nível de condição (K).

Além da definição do nível de condição ( $K_n$ ), outra modificação proposta nesta pesquisa foi na obtenção da constante representativa da importância das patologias ( $K_{cn}$ ). Esta constante representa a importância relativa que cada patologia desempenha na degradação das fachadas, e sua determinação se dá da seguinte forma:

- Obtêm-se a matriz de correlação entre causas prováveis / manifestações patológicas;
- Obtêm-se a matriz associativa entre as patologias / queda de desempenho;
- Para cada matriz, por meio de seus índices, definem-se indicadores que representem a importância de cada patologia; e
- Obtêm-se a classificação que referenda a importância das patologias ( $K_{cn}$ ).

Propostas estas alterações para a formulação do FGD, ele foi aplicado e seus resultados foram associados à influência de fatores como a idade e a orientação das amostras, tornando possível a obtenção de informações fornecendo melhores subsídios ao estudo da degradação. Uma destas, são as curvas de degradação, que visam ampliar não apenas a percepção do comportamento da degradação, mas também torna possível a análise e estimativa da vida útil dos edifícios.

O conhecimento destes fatores pode fornecer informações e contribuições importantes quanto ao nível de propagação das patologias e seu comportamento ao longo do tempo. Os resultados obtidos podem ser usados na avaliação do desempenho das fachadas e na programação e execução de suas manutenções.

Deste modo, os resultados obtidos a partir desta pesquisa são dirigidos de forma a compreender a influência dos agentes climáticos (caracterizados pela orientação de exposição das fachadas) no processo de degradação. A rotina de avaliação da degradação (levantamento e tratamento dos dados, bem como a apropriação do FGD) proposta nesta pesquisa, visa a sistematização do

processo, permitindo sua utilização, aperfeiçoamento e continuidade do estudo por outros pesquisadores.

#### **4.4 ANÁLISE COMPLEMENTAR**

De forma a ampliar a contribuição desta pesquisa no estudo das patologias, foi realizado uma complementação em relação a dois aspectos: matriz inter-patologias e estudo dos danos nas regiões.

##### **4.4.1 Matriz inter-patologias**

A primeira análise teve por objetivo desenvolver uma matriz que fosse capaz de relacionar a propensão entre o surgimento de uma patologia em decorrência de suas causas coincidirem com as causas de outras patologias. Por exemplo, as causas atuantes no surgimento de uma fissura podem se intensificar ocasionando o descolamento do revestimento. Esta é denominada matriz de correlação inter-patologias, descrita no item 3.3, e foi determinada pela seguinte forma:

- Obteve-se a matriz de correlação entre causas prováveis / manifestação patológica;
- Nesta matriz aplicou-se a equação 3.1 (descrita no item 3.3 desta dissertação), que resultou em índices que formaram uma matriz base de correlação; e
- Então aplicou-se as equações 3.2 e 3.3 (descritas no item 3.3 desta dissertação), resultando um índice percentual representativo da probabilidade de determinada patologia ocasionar o surgimento de outras.

##### **4.4.2 Estudo dos danos nas regiões**

O estudo das regiões foi realizado conforme descrito no item 2.3.2.2, consistindo em avaliar a frequência e a intensidade dos danos nas regiões. Para isto, foram realizadas duas análises, sendo elas:

- **Frequência de danos nas regiões** – Obtida pelo resultado médio do  $FD_R$  (equação 2.2) por região, conforme definidas na Figura 2.7, de cada amostra dos edifícios estudados;
- **Intensidade dos danos nas regiões** – obtida pelo resultado médio do  $FD_{RC}$  (equação 2.4).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia descrita para analisar a degradação das fachadas, os resultados obtidos neste estudo são apresentados e discutidos seguindo quatro vertentes, sendo elas:

- i. Classificação das patologias quanto às suas gravidades (matrizes de correlação) – esta investigação é fundamental para determinar a importância relativa de cada patologia, de acordo com suas possíveis causas, na degradação do edifício;
- ii. Análise da extensão de degradação (Fator de Danos) – análise preliminar dos danos, investigando os resultados da incidência de ocorrência das patologias nas amostras ( $FD_{Total}$ );
- iii. Análise da gravidade da degradação (Fator Geral de Danos) – consiste na proposição e aplicação do FGD, estabelecendo um modelo de perda de desempenho para fachadas com revestimento em argamassa ao longo do tempo; e
- iv. Análise complementar – neste item é analisada a matriz de correlação inter-patologias e o fator de danos de acordo com as regiões de ocorrência ( $FD_{RC}$ ).

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS QUANTO ÀS SUAS GRAVIDADES

Para estabelecer a caracterização das patologias, denominadas na Tabela 4.1, é apresentado um sistema classificativo das prováveis causas de suas ocorrências no revestimento em argamassa. Este sistema classificativo é realizado de forma cronológica, em que primeiramente são apresentados os erros que podem ser ocasionados na fase de projeto, seguidos pelos erros no substrato, na execução e, por fim, no uso e manutenção. Deste modo, na Tabela 5.1, são apresentadas as causas prováveis (C) vinculadas às manifestações patológicas investigadas nesta pesquisa. Através de uma análise sistêmica são definidas as causas determinantes no surgimento das patologias.

Tabela 5.1 – Classificação das causas de patologias, de acordo com a etapa do ciclo de vida do revestimento

<b>C-A FALHAS DE PROJETO</b>	
C-A1	Especificação de materiais (traços, tipos de argamassa)
C-A2	Especificação da camada de chapisco
C-A3	Especificação de camadas (emboço, reboco, camada única, espessura)
C-A4	Especificação de técnicas de execução (telas de combate a fissuração)
C-A5	Juntas
C-A6	Pingadeiras (planos de vedação e aberturas)
C-A7	Encontro alvenaria estrutura ( pilar, alvenaria e aperto)
<b>C-B FALHAS HERDADAS (ORIUNDAS DO SUBSTRATO)</b>	
C-B1	Vergas e contravergas
C-B2	Deformações estruturais atuantes na alvenaria
C-B3	Umidade
<b>C-C FALHAS DE EXECUÇÃO</b>	
C-C1	Não cumprimento dos tempos de espera entre etapas
C-C2	Logística de produção e execução da argamassa (rodada em obra)
C-C3	Logística de produção e execução da argamassa (estabilizada)
C-C4	Logística de produção e execução da argamassa (industrializada)
C-C5	Tempo de validade para aplicação da argamassa
C-C6	Preparo do substrato e da base
C-C7	Aplicação em condições ambientais desfavoráveis
C-C8	Dificuldades de execução (cantos, requadramentos e extremidades)
C-C9	Espessuras inadequada por erros de prumo
C-C10	Sarrafeamento precoce da argamassa
C-C11	Cura
<b>C-D FALHAS DE USO E MANUTENÇÃO</b>	
C-D1	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (ar cond.)
C-D2	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (tela)
C-D3	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (grade)
C-D4	Falta ou incorreta limpeza da fachada
C-D5	Manutenção de juntas e vedações (esquadrias)
C-D6	Manutenção inadequada da pintura
C-D7	Final da vida útil da pintura

### 5.1.1 Correlação entre causas prováveis / manifestações patológicas

A partir das patologias levantadas e constatação das principais causas a elas atribuídas, é possível confeccionar a matriz de correlação causas prováveis / manifestação patológica (Tabela 5.2). A construção desta matriz permite pré-estabelecer a quais patologias os edifícios são mais susceptíveis, pela quantidade e intensidade das causas. No Anexo 1 é apresentado uma justificativa sobre os índices empregados em cada célula desta matriz.

Nesta tabela são apresentadas, de forma a complementar, duas linhas de análises, sendo: quantidade de causas prováveis (quantia de causas que apresenta índice diferente de zero para cada patologia) e somatório dos índices (soma dos índices, considerando todas as causas, de cada patologia).

Tabela 5.2 – Matriz de correlação entre as causas prováveis / manifestações patológicas

Causas	Patologias abordadas							
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
C-A1	2	2	2	1	1	1	0	1
C-A2	2	1	0	0	0	0	0	0
C-A3	2	2	0	1	0	0	0	0
C-A4	1	2	0	0	0	0	0	0
C-A5	1	1	0	0	0	0	0	0
C-A6	0	0	1	1	2	1	0	1
C-A7	1	2	0	0	0	0	0	0
C-B1	0	2	0	0	0	0	0	0
C-B2	2	2	0	0	0	0	0	0
C-B3	0	0	2	2	2	1	0	2
C-C1	1	1	0	0	0	2	2	2
C-C2	1	2	0	0	0	0	0	0
C-C3	1	1	0	0	0	0	0	0
C-C4	1	1	0	0	0	0	0	0
C-C5	1	2	0	0	0	0	0	0
C-C6	2	1	0	0	0	0	0	0
C-C7	2	2	2	0	0	0	0	0
C-C8	1	1	0	0	0	0	0	0
C-C9	2	1	0	0	0	0	0	0
C-C10	0	2	0	0	0	0	0	0
C-C11	1	2	1	0	0	0	0	0
C-D1	0	0	0	1	1	0	0	0
C-D2	0	1	0	1	1	0	0	0
C-D3	0	0	0	1	1	0	0	0
C-D4	0	0	0	0	2	0	0	0
C-D5	0	0	2	2	2	0	0	1
C-D6	0	0	0	0	2	2	2	1
C-D7	0	0	2	2	2	2	2	2
<b>Quant. de causas prováveis</b>	17	20	7	9	10	6	3	7
<b>Somatório dos índices</b>	24	31	12	12	16	9	6	10
Legenda: 2 (correlação elevada ou forte); 1 (possível correlação); 0 (correlação baixa ou nula)								

Percebe-se, antes mesmos da inspeção dos edifícios, uma maior suscetibilidade para ocorrência das fissuras, já que esta patologia apresenta tanto o maior número de causas prováveis (20),

quanto o maior somatório nos índices (31); seguido pelo descolamento (17 causas) e pelas manchas (10 causas). Em relação a pulverulência e a eflorescência, nota-se que o somatório dos índices foi igual a 12 para as duas patologias, porém, ao analisar a quantidade de ocorrências, notamos que a pulverulência é mais sensível às causas apresentadas, já que sua quantidade de ocorrências (7) foi menor em relação a eflorescência (9).

Sobre as patologias das pinturas nota-se uma maior pré-disposição para manifestação das bolhas (7 causas), seguido pelo descolamento (6 causas) e fissuração (3 causas) da película. Conforme discorrido anteriormente, estes resultados podem não se traduzir na inspeção dos edifícios, pois as patologias ocorrem frente a complexos mecanismos de degradação que devem ser analisados especificamente em cada caso.

Por meio da matriz de correlação (Tabela 5.2), amplia-se o estudo desenvolvendo um indicador da importância relativa das causas das patologias ( $I_c$ ), advinda da relação entre as médias ( $\mu$ ) dos índices da matriz de acordo com suas etapas de ocorrência, e o somatório destas médias. Podendo ser representada pela equação:

$$I_c = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ci}}{\sum \mu_c} \quad \text{Equação 5.1}$$

Onde:

$I_c$  = Indicador da importância relativa da causa de uma patologia  $i$ ;

$N$  = Quantidade de etapas analisadas;

$\mu_{ci}$  = Média dos índices das causas de ocorrência de uma patologia  $i$  em cada etapa analisada;

$\mu_c$  = Média dos valores de  $\mu_{ci}$ , considerando todas patologias estudadas.

Este indicador sintetiza a relevância das causas no surgimento de cada patologia, de forma que, quanto maior seu valor, maior a relevância destas causas no estudo da degradação. Na Tabela 5.3 são apresentadas as etapas para se obter o  $I_c$  e seus respectivos valores.

Tabela 5.3 – Etapas para obtenção do indicador  $I_c$  para as patologias abordadas

Etapas	Patologias								
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P	
$\mu_{ci}$	CA	1,29	1,43	0,43	0,43	0,43	0,29	0	0,29
	CB	0,67	1,33	0,67	0,67	0,67	0,33	0	0,67
	CC	1,18	1,45	0,27	0	0	0,18	0,18	0,18
	CD	0	0,14	0,57	1,00	1,57	0,57	0,57	0,57
$\Sigma\mu_{ci}$	3,13	4,36	1,94	2,10	2,67	1,37	0,75	1,71	
$\Sigma\mu_c$	18,03								
$I_c$	0,17	0,24	0,11	0,12	0,15	0,08	0,04	0,09	

Nota-se que a fissura apresenta maior resultado (0,24), traduzindo a relevância desta patologia frente às causas prováveis, seguida pelo descolamento (0,17), pelas manchas (0,15), pela eflorescência (0,12) e pela pulverulência (0,11). Nas patologias de pintura a ocorrência de bolhas aparece com uma maior importância (0,09), seguida pelo descolamento (0,08) e pelas fissuras (0,04). Estes resultados sintetizam a relevância de cada patologia levando em consideração suas possíveis causas.

### 5.1.2 Correlação entre manifestações patológicas / queda de desempenho

De forma semelhante à matriz de correlação entre causas prováveis / manifestação patológica (Tabela 5.2), é proposta outra matriz que relacione as patologias estudadas com a queda de desempenho dos edifícios. Deste modo, na Tabela 5.4, é apresentada uma matriz de correlação de cada patologia sobre as três principais abordagens na queda de desempenho dos edifícios (estrutura, estanqueidade e estética). No anexo 2 é apresentada a justificativa para os índices apontados nesta tabela.

Propõem-se também outro indicador que sintetize a importância relativa de cada patologia na queda de desempenho do revestimento ( $I_d$ ), sendo a percentagem dos índices de cada patologia frente ao total dos índices. Desta forma, o equacionamento do  $I_d$ , é dado como:

$$I_d = \frac{\sum_{i=1}^N d_{ki}}{d_{k \text{ total}}} \quad \text{Equação 5.2}$$

Onde:

$I_d$  = Indicador da importância relativa da queda de desempenho de uma patologia  $i$ ;

$N$  = Número de patologias;

$d_{ki}$  = Índice da queda de desempenho de determinada patologia  $i$ ;

$d_{k\ total}$  = soma dos valores de  $d_{ki}$ , considerando todas patologias estudadas.

Tabela 5.4 – Matriz de correlação das patologias sobre a queda de desempenho

Patologias	Queda de desempenho quanto à:			$\Sigma d_{ki}$	$d_{k\ total}$	$I_d$
	estrutura	estanqueidade	estética			
De.A	2	2	2	6	27	0,22
Fi.A	2	2	1	5		0,19
Pu.A	1	2	2	5		0,19
Ef.A	0	1	2	3		0,11
Ma.A	0	0	2	2		0,07
De.P	0	1	2	3		0,11
Fi.P	0	1	1	2		0,07
Bo.P	0	0	1	1		0,04

Legenda: 2 (correlação elevada ou forte); 1 (possível correlação); 0 (correlação baixa ou nula)

Sobre as patologias da argamassa, nota-se que o descolamento exerce grande influência em todos os aspectos da queda de desempenho, refletindo sua maior importância relativa (0,22), e isto se dá pela argamassa deixar de cumprir sua função de proteção, conforme descrito no item 3.2.1. Nesta análise a fissura deixa de apresentar a maior importância, ao contrário do evidenciado no indicador de importância das causas ( $I_c$ ), sendo o segundo indicador ( $I_d = 0,19$ ). Isto ocorre pois seu índice quanto a estética é fraco, podendo até ser despercebida em alguns casos. A pulverulência também apresenta indicador de importância de 0,19, pois neste caso sua queda de desempenho estrutural não é muito forte já que, apesar da desagregação de parte do revestimento, ele ainda fornece alguma proteção ao sistema. Seguido pela eflorescência (0,11), a qual apresenta correlação na queda de desempenho estrutural nula e possível na estanqueidade, já que esta patologia é associada à falha neste item. Por fim, as manchas, com  $I_d$  igual a 0,07, não apresentam qualquer queda de desempenho quanto a estrutura e estanqueidade, porém sua relação com a estética das fachadas é fortemente afetada.

Em relação às patologias da película de pintura, percebe-se que estas não causam diretamente queda de desempenho estrutural do sistema, mas originam danos superficiais com maiores prejuízos quanto à estética das fachadas. No geral, as importâncias relativas destas patologias na queda de desempenho também são baixas, apresentando o descolamento da película com maior valor (0,11), afetando principalmente a estética do edifício. A fissuração da película apresenta  $I_d$  igual a 0,07, que resulta de sua correlação com a estanqueidade e a estética, porém

ambas situações não apresentam fortes correlações. Por fim, a formação de bolhas da pintura, com indicador de 0,04, apresenta correlação apenas associada à estética.

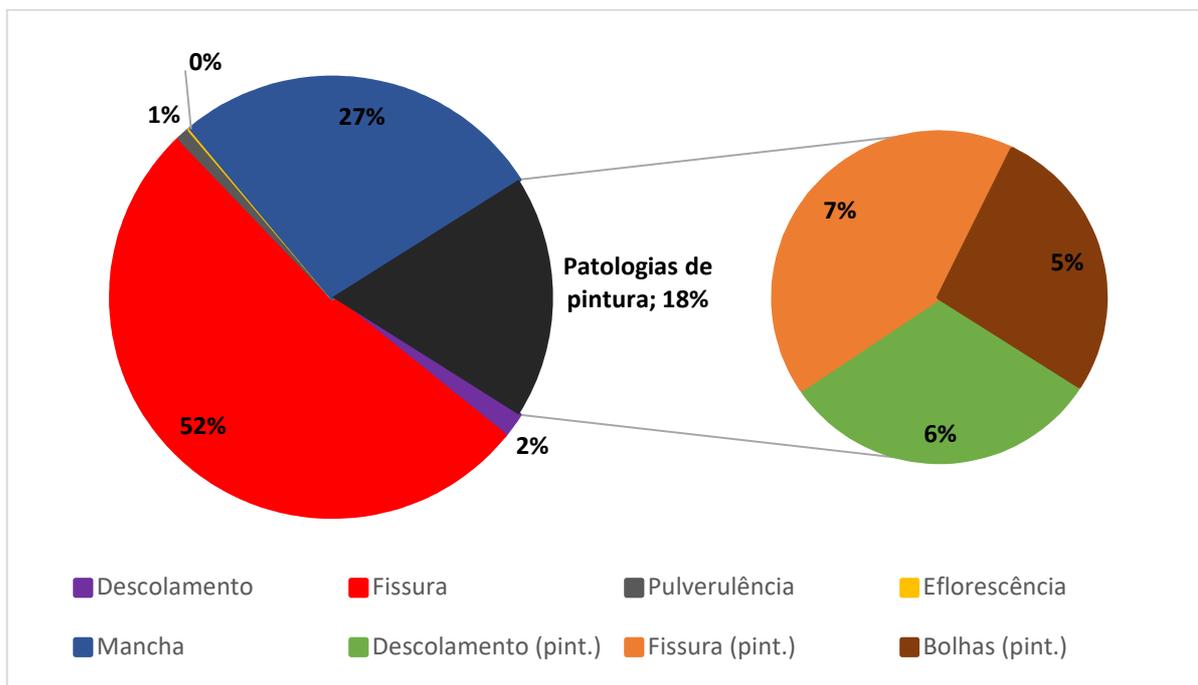
## 5.2 ANÁLISE DA EXTENSÃO DA DEGRADAÇÃO

Esta etapa discorre da análise dos resultados do FD, que estabelece um parâmetro inicial de análise da degradação. A partir do banco de dados realizado, obteve-se resultados do  $FD_{Total}$  das patologias para todas as amostras, considerando a idade e orientação das mesmas. Nesta ocasião é realizada a análise do grau de incidência das patologias estudadas, bem como a influência da orientação cardinal das amostras em suas manifestações.

### 5.2.1 Incidência das patologias

A partir da quantificação das patologias, obtém-se o gráfico de setores com base no  $FD_{Total}$  (Figura 5.1), com objetivo de analisar a ocorrência das patologias nos edifícios estudados.

Figura 5.1 – Ocorrência das patologias nas amostras de estudo.



Observa-se que a patologia predominante ocorrida nas amostras é a fissura (52%), seguida pelas manchas (27%), e pelas patologias de pintura (fissura, descolamento e bolhas representando 7%, 6% e 5% respectivamente) totalizando 18%. As demais patologias somadas (descolamento, pulverulência e eflorescência) representam 3% do total. Esta distribuição de patologias é próxima à encontrada por Macedo (2017), que mensurou a degradação de três edifícios com

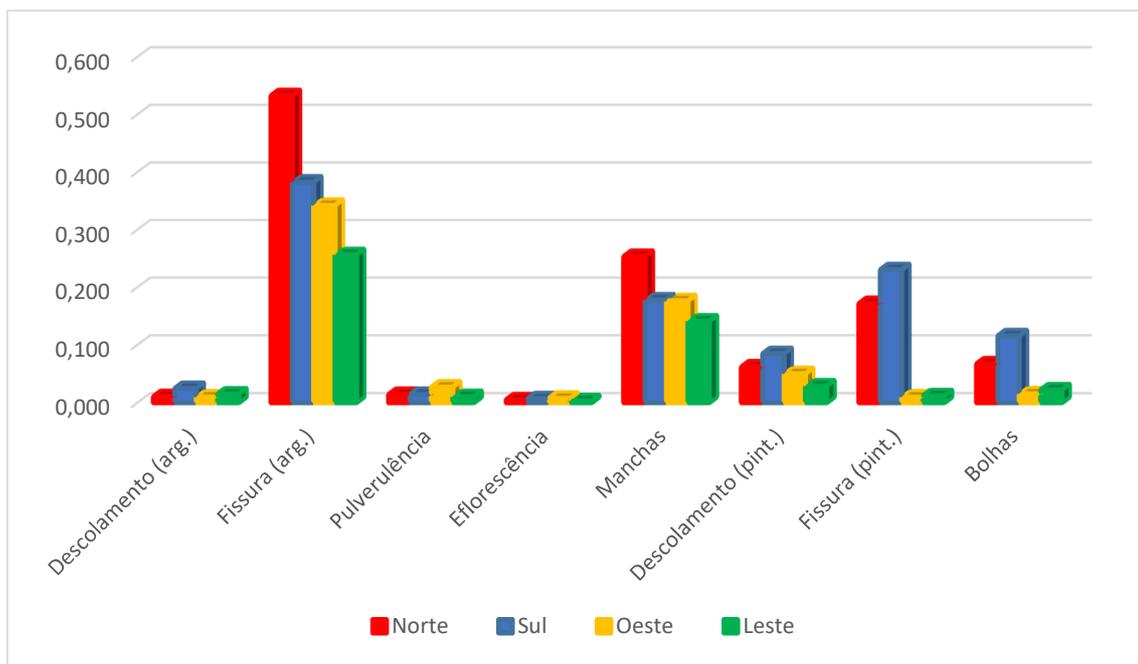
sistema de revestimento em argamassa e acabamento em pintura no plano piloto de Brasília-DF. Neste estudo, Macedo (2017) obteve a seguinte distribuição: fissuras – 45%; manchas – 37%; patologias de pintura – 13% (descolamento – 6%; bolhas – 4%; e fissuras – 3%); e demais patologias (descolamento, pulverulência e eflorescência) somando 5%.

Pacheco (2016), analisando manifestações patológicas em Vitória- ES, encontrou para um edifício com revestimento em argamassa a ocorrência de manchas (29%), descolamento da argamassa (2%) e descolamento da pintura (8%) próximos aos resultados encontrados nesta pesquisa, porém a ocorrência de fissuras encontrada foi inferior (21%). Gaspar (2009), estudando a vida útil das edificações com revestimento em argamassa em Lisboa (Portugal), também verificou um predomínio das manchas seguido por perda de aderência e ocorrências menores e pontuais de fissuração.

### 5.2.2 Investigação da orientação cardeal

Pretendendo-se investigar o comportamento das patologias quanto a predominância de fatores ou agentes de degradação climáticos, é efetuado o levantamento do FD de acordo com a orientação cardeal das amostras. Desta forma, na Figura 5.2, é apresentado o FD médio considerando todas as amostras, demonstrando cada patologia de acordo a orientação cardeal.

Figura 5.2 – Valor médio do FD das patologias de acordo com as orientações cardeais.



Percebe-se uma grande variação nos valores de FD médio, observada por exemplo no caso das fissuras, em que as fachadas de orientação Norte (0,53) apresentam aproximadamente o dobro

das fachadas Leste (0,25), ao contrário do que ocorre nas fachadas Sul e Oeste que são mais aproximadas (0,38 e 0,34 respectivamente). Os valores apresentados pelas fissuras são de aproximadamente o dobro dos registrados pelas manchas (0,25; 0,18; 0,18; e 0,14 seguindo as orientações Norte, Sul, Oeste e Leste respectivamente). Os valores médios do FD apresentado pelas demais patologias da argamassa são significativamente inferiores aos demais, não ultrapassando 0,03 em todas as orientações.

Se observado os valores médios do FD para as patologias de pintura, nota-se uma predominância das orientações Sul e Norte, principalmente para as fissuras apresentando 0,23 (Sul) e 0,17 (Norte) e bolhas com 0,12 (Sul) e 0,07 (Norte). As orientações Oeste e Leste para estas patologias são pouco expressivas com FD médio abaixo de 0,02.

Se observadas as duas patologias com maiores valores de FD (fissuras e manchas), nota-se um padrão dado pela disposição das orientações, seguindo a ordem Norte, Sul, Oeste e Leste. Este padrão modifica-se quando observadas as patologias da pintura, pois nestas a orientação Sul passa a apresentar um maior FD médio, seguida pela orientação Norte.

### **5.3 ANÁLISE DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO**

#### **5.3.1 Proposição para o cálculo do FGD**

Para examinar a gravidade da degradação é proposto adaptar a formulação do FGD (Equação 2.2) de modo a definir suas constantes em função da importância das patologias na degradação dos edifícios. Para isto, é proposto ajustar os critérios de definição do nível de condição ( $K_n$ ), utilizados por Souza (2016), às condições próprias do revestimento em argamassa e suas patologias para o banco de dados local, em que o estudo se insere. Além disso, outra importante contribuição deste estudo é o critério da constante de ponderação  $K_{cn}$ , sendo agora definida pela importância relativa de duas análises de correlação, sendo: causa provável / manifestação patológica; e manifestação patológica / queda de desempenho.

##### **5.3.1.1 Definição do nível de condição**

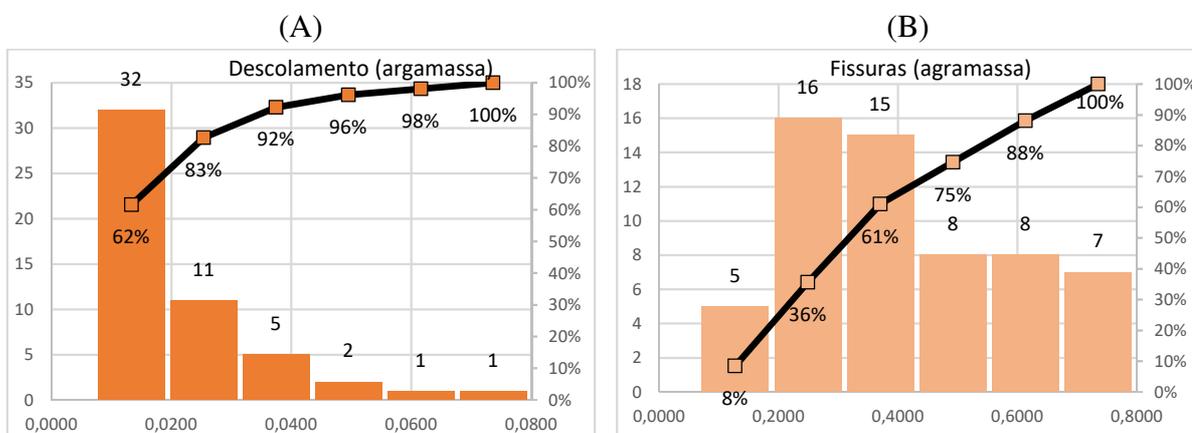
O critério adotado para o  $K_n$  advém da associação dos valores característicos do  $FD_{Total}$  em função da frequência de ocorrência, para as patologias observadas nos edifícios examinados. Conforme descrito por Souza (2016), esta associação é realizada para estabelecer faixas de gravidade (níveis 1, 2, 3 e 4) associadas a valores característicos de determinadas frequências

acumuladas (0 a 50%; 50 a 80%; 80 a 90% e 90 a 100%). Estabelecendo desta forma uma escala de degradação em quatro níveis de condição, de acordo com a ocorrência das patologias. Souza (2016) definiu estas frequências após um levantamento minucioso de vários edifícios, ponderando qualitativamente o final da vida útil nestes casos.

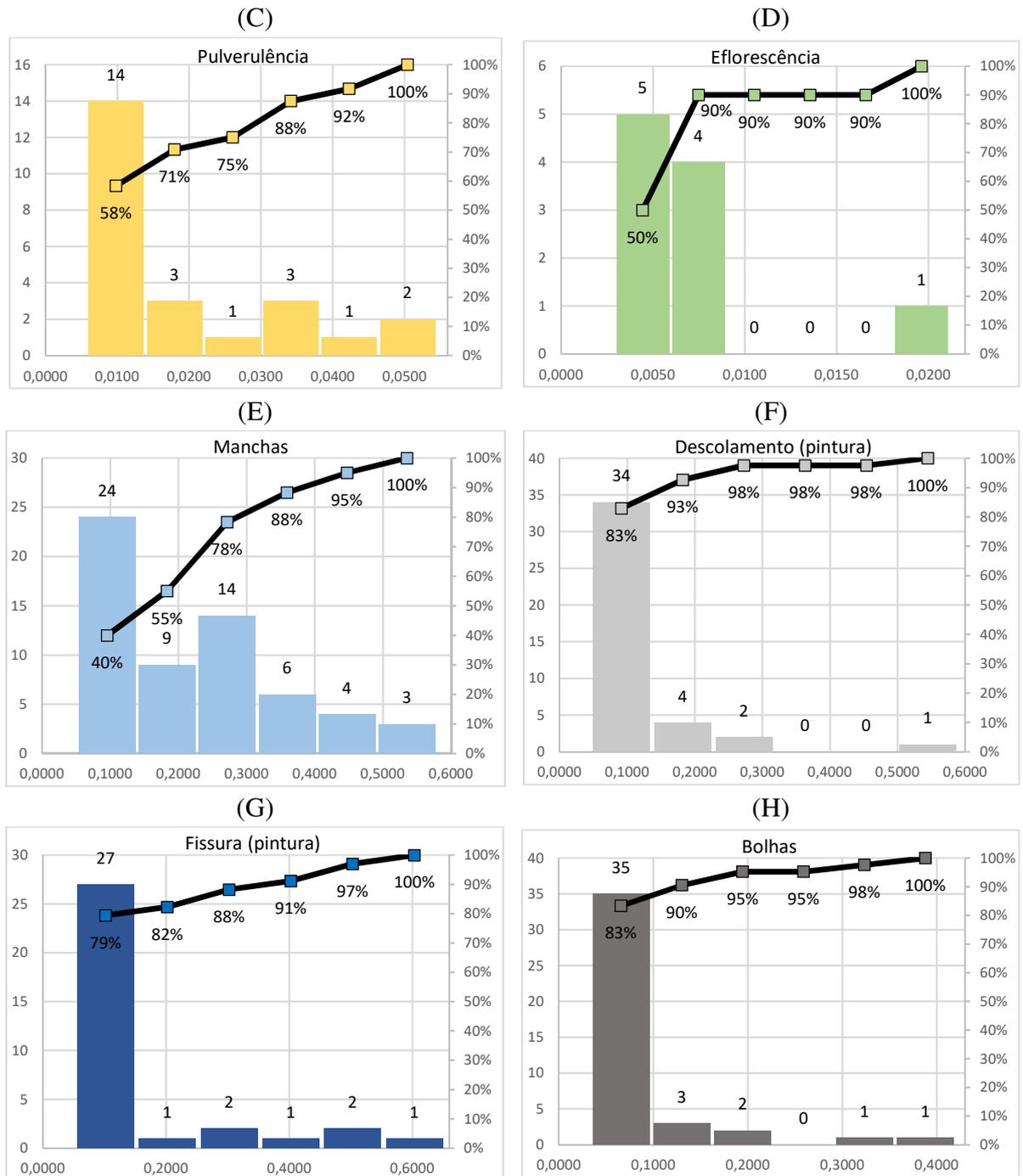
Esta associação às frequências acumuladas reflete a realidade do banco de dados em análise, representando uma abordagem realística ao estudo disposto. Desta forma, os resultados destes níveis estão diretamente ligados às variáveis do banco de dados (região, sistema de revestimento, tipologia construtiva, quantidade e idade das amostras). Uma vez alterada alguma destas variáveis, altera-se também o resultado, torna-se necessário uma nova associação. Desta maneira, os resultados obtidos por meio desta análise não podem ser comparados como critério, pois em outras regiões ou em edifícios com características diferentes tem-se outras distribuições. Todavia, como método, a proposta desenvolvida pode ser adequada.

Na Figura 5.3 são apresentados os histogramas das patologias, ilustrando a distribuição de frequências dos resultados do  $FD_{Total}$  observado.

Figura 5.3 – Histogramas das patologias do fator de danos (FD) das patologias:  
 (A) De.A; (B) Fi.A; (C) Pu.A; (D) Ef.A; (E) Ma.A; (F) De.P; (G) Fi.P; e (H) Bo.P



(Continuação) Figura 5.4 – Histogramas das patologias do fator de danos (FD) das patologias: (A) De.A; (B) Fi.A; (C) Pu.A; (D) Ef.A; (E) Ma.A; (F) De.P; (G) Fi.P; e (H) Bo.P



Com exceção das fissuras, nota-se uma diminuição da frequência de ocorrência à medida que aumenta o valor do  $FD_{Total}$ , sendo que a maior frequência ocorre no menor intervalo do  $FD_{Total}$ . Este comportamento da distribuição da frequência de ocorrência apresenta uma tendência

exponencial. A frequência de distribuição das fissuras se aproxima mais de uma tendência normal, este comportamento foi encontrado no estudo de Macedo (2017).

Na Tabela 5.5 são apresentados os valores do FD, de acordo com a frequência acumulada a cada 10% dos dados (do mínimo para o máximo), para as patologias em análise. Nesta são destacados os valores característicos (50, 80 e 90%) das frequências.

Tabela 5.5 – Valores de  $FD_{Total}$  das patologias, de acordo com a frequência de ocorrência

Percentil	$FD_{Total}$							
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
Máximo	0,0736	0,7351	0,0504	0,0196	0,5355	0,5447	0,6034	0,3879
90%	0,0289	0,6658	0,0382	0,0082	0,3727	0,1345	0,3548	0,1189
80%	0,0224	0,5140	0,0279	0,0060	0,2873	0,0767	0,1161	0,0522
70%	0,0161	0,4270	0,0174	0,0056	0,2246	0,0401	0,0208	0,0352
60%	0,0123	0,3669	0,0116	0,0053	0,1943	0,0251	0,0145	0,0276
50%	0,0104	0,3333	0,0088	0,0047	0,1602	0,0231	0,0123	0,0192
40%	0,0078	0,2950	0,0071	0,0036	0,0959	0,0185	0,0106	0,0142
30%	0,0048	0,2098	0,0057	0,0028	0,0835	0,0108	0,0091	0,0106
20%	0,0032	0,1677	0,0052	0,0026	0,0659	0,0056	0,0067	0,0074
10%	0,0028	0,1299	0,0031	0,0025	0,0531	0,0026	0,0031	0,0030
Mínimo	0,0013	0,0057	0,0017	0,0014	0,0076	0,0011	0,0013	0,0014

A partir desta tabela, considerando as frequências acumuladas características, são definidos os limites dos intervalos entre os níveis de condição ( $K_n$ ), apresentado no item 2.3.2 desta dissertação.

O  $K_n$  é o nível de condição dos danos, e ele estabelece uma escala de degradação das patologias conforme a extensão de sua manifestação. A escala da degradação é apresentada em quatro níveis, além do nível 0 ou nulo em que não apresenta degradação. Os limites entre os níveis são definidos entre os valores característicos da frequência de ocorrência. Desta forma, os níveis serão assim representados:

- Nível 0 – sem degradação visível;
- Nível 1 – edifício em boas condições, com ocorrência de danos igual ou abaixo de 50% ( $FD_{Total} \leq 50\%$ );
- Nível 2 – amostra apresentando degradação leve, na qual a extensão dos danos abranja entre 50 e 80% ( $50 < FD_{Total} \leq 80\%$ );

- Nível 3 – amostra com degradação moderada, com extensão de danos entre 80 e 90% ( $80 < FD_{Total} \leq 90\%$ ). Este nível corresponde ao fim da vida útil do revestimento; e
- Nível 4 - degradação generalizada, neste nível o revestimento já não atende aos requisitos a ele impostos. Apresentando mais de 90% de extensão das patologias ( $90\% < FDTotal$ ).

Na Tabela 5.6 são apresentados os níveis de condição ( $K_n$ ) para cada patologia, de acordo com os critérios acima discorridos, bem como a extensão dos danos correspondente às patologias analisadas em cada nível.

Tabela 5.6 – Critérios adotados dos níveis de condição de cada patologia

Patologias	Critério de valor	Nível de Condição ( $k_n$ )	% área degradada
De.A	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 1,04\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$1,04\% < x \leq 2,24\%$
	$80\% < FD \leq 90\%$	3	$2,24\% < x \leq 2,89\%$
	$90\% < FD$	4	$2,89\% < x$
Fi.A	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 33,33\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$33,33\% < x \leq 51,40\%$
	$80\% < FD \leq 90\%$	3	$51,40\% < x \leq 66,58\%$
	$90\% < FD$	4	$66,58\% < x$
Pu.A	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 0,88\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$0,88\% < x \leq 2,79\%$
	$80\% < FD \leq 90\%$	3	$2,79\% < x \leq 3,82\%$
	$90\% < FD$	4	$3,82\% < x$
Ef.A	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 0,47\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$0,47\% < x \leq 0,60\%$
	$80\% < FD$	3	$0,60\% < x$
Ma.A	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 16,02\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$16,02\% < x \leq 28,73\%$
	$80\% < FD$	3	$28,73\% < x$
De.P	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 2,31\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$2,31\% < x \leq 7,67\%$
	$80\% < FD$	3	$7,67\% < x$
Fi.P	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 1,23\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$1,23\% < x \leq 11,61\%$
	$80\% < FD$	3	$11,61\% < x$
Bo.P	$FD \leq 50\%$	1	$x \leq 1,92\%$
	$50\% < FD \leq 80\%$	2	$1,92\% < x \leq 5,22\%$
	$80\% < FD$	3	$5,22\% < x$

As patologias com menores gravidades ao revestimento (Ef.A, Ma.A, De.P, Fi.P e Bo.P), quando levado em consideração a queda de desempenho (Tabela 5.4), não foram classificadas no pior nível de condição (Nível 4). Estas patologias podem causar o fim da vida útil do revestimento e pintura (Nível 3), porém, agindo de modo isolado, elas dificilmente acarretaram na perda dos requisitos impostos ao revestimento.

Finalmente o  $K_{m\acute{a}x}$  segue a forma proposta por Souza (2016), representando o maior nível de degradação, ou seja, a pior condição possível em uma amostra. Para isto, no denominador do FGD, faz-se a soma do  $K_{m\acute{a}x}$  de cada patologia, que equivale a 27 ( $De.A_{m\acute{a}x} = 4$ ;  $Fi.A_{m\acute{a}x} = 4$ ;  $Pu.A_{m\acute{a}x} = 4$ ;  $Ef.A_{m\acute{a}x} = 3$ ;  $Ma.A_{m\acute{a}x} = 3$ ;  $De.P_{m\acute{a}x} = 3$ ;  $Fi.P_{m\acute{a}x} = 3$  e  $Bo.P_{m\acute{a}x} = 3$ ).

### 5.3.1.2 Definição da importância relativa das patologias

A constante  $K_{cn}$ , neste estudo, será classificada pelo resultado de dois indicadores ( $I_c$  e  $I_d$ ), determinados no item 5.1. O  $I_c$  pondera as patologias, associando-as com suas causas prováveis, enquanto o  $I_d$  pondera estas patologias em relação à queda de desempenho. Estes indicadores relativos às causas e à queda de desempenho podem ser analisados em combinação, pela multiplicação entre eles ( $I_c \times I_d$ ), permitindo classificar o grau de importância de cada patologia. Desta forma, na Tabela 5.7 são apresentados os resultados da constante  $K_{cn}$  obtida como a importância relativa das patologias.

Tabela 5.7 – Resultado do  $K_{cn}$  para as patologias estudadas.

Indicadores	Patologias							
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
$I_c$ (Tabela 5.3)	0,17	0,24	0,11	0,12	0,15	0,08	0,04	0,09
$I_d$ (Tabela 5.4)	0,22	0,19	0,19	0,11	0,07	0,11	0,07	0,04
$I_c \times I_d$	0,039	0,045	0,020	0,013	0,011	0,008	0,003	0,004
$K_{cn}$	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08

A fissura têm também apresenta uma maior relação entre os dois indicadores, sendo tomada como referência no resultado do  $K_{cn}$  das demais patologias. Deste modo, posteriormente às fissuras fica o descolamento (0,86), a pulverulência (0,44), a eflorescência (0,29) e a mancha (0,24). As três patologias referenciadas pela pintura, apresentam os menores valores sendo o descolamento (0,19), a formação de bolha (0,08) e a fissura (0,07).

### 5.3.2 Análise do FGD

Como forma de analisar o impacto da proposta adotada para a formulação do FGD, recorre-se  análise comparativa considerando as áreas afetadas por cada patologia. O objetivo deste comparativo é verificar se as situações críticas de cada nível de condição ( $k_n$ ) e as demais constantes ( $K_{cn}$  e  $K_{max}$ ), propostas para formulação do FGD, representam o nível real de degradação encontrado nas amostras.

Para isto, simula-se três situações representando as situações limites de ocorrência de todas as patologias entre os 4 níveis de condição ( $K_n$ ). As condições específicas para esta simulação são apresentadas na Tabela 5.8. Nesta, a simulação 1 representa o limite entre os níveis 1 e 2, a simulação 2 representa os limites entre os níveis 2 e 3 e, por fim a simulação 3 representa a divisa entre os níveis 3 e 4. Os resultados encontrados destas simulações são plotados na Figura 5.4.

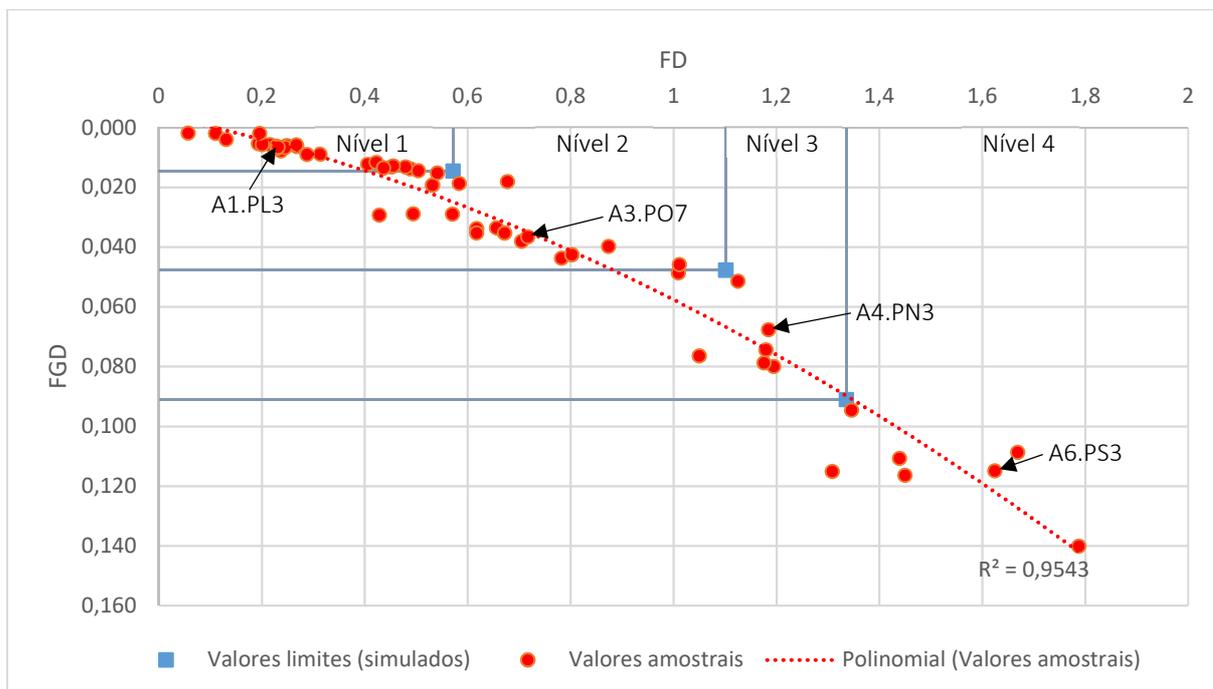
Tabela 5.8 – Constantes simuladas no cálculo do FGD, estabelecendo os limites dos níveis de degradação

	Constantes	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
Simulação 1	$A_d / A_t$ (%)	1,04%	33,33%	0,88%	0,47%	16,02%	2,31%	1,23%	1,92%
	$K_n$	1	1	1	1	1	1	1	1
	$K_{cn}$	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08
	$K_{máx}$	27	27	27	27	27	27	27	27
Simulação 2	$A_d / A_t$ (%)	2,24%	51,40%	2,79%	0,60%	28,73%	7,67%	11,61%	5,22%
	$K_n$	2	2	2	2	2	2	2	2
	$K_{cn}$	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08
	$K_{máx}$	27	27	27	27	27	27	27	27
Simulação 3	$A_d / A_t$ (%)	2,89%	66,58%	3,82%	0,82%	37,27%	13,45%	35,48%	11,89%
	$K_n$	3	3	3	3	3	3	3	3
	$K_{cn}$	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08
	$K_{máx}$	27	27	27	27	27	27	27	27

Após a definição entre estes limites plota-se também na Figura 5.4 os resultados (FD e FGD) das amostras estudadas nesta pesquisa, sendo denominados de valores amostrais. Desta forma, pode-se determinar os níveis de degradação das amostras estudadas.

Ressalta-se que a simulação dos níveis apresentados na Figura 5.4 considera a ocorrência de todas as patologias, em seus respectivos limites entre os níveis determinados na Tabela 5.6. Este fato não representa o comportamento real da degradação, pois as patologias são consideradas independentes entre si, apresentando diferentes extensões de danos. Como exemplo, pode-se ocorrer amostras que apresentem nível 4 na ocorrência de fissuras e nível 1 em manchas ou demais patologias. Porém este balizamento permite analisar, de modo geral, o comportamento esperado da degradação, já que estes limites entre os níveis foram restringidos pela porcentagem da área de danos das amostras, conforme mostrado na Tabela 5.6.

Figura 5.5 – Comportamento da degradação (FD x FGD) e limites entre os níveis de degradação.



Nota-se que a maior parte das amostras foram distribuídas no nível 1 (28 amostras) e no nível 2 (18 amostras), demonstrando que a maior parte apresenta boas condições e degradação leve, referindo-se aos níveis 1 e 2 respectivamente. Enquanto isso, os níveis 3 e 4 apresentaram a mesma concentração de amostras, 7 ocorrências cada.

O modelo da curva que melhor se ajusta aos dados foi a polinomial de ordem 2, apresentando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de aproximadamente 0,95, demonstrando um bom ajustamento do modelo às amostras.

É selecionada uma amostra intermediária a cada nível para verificar, visualmente, se as condições reais de degradação destas condizem com o modelo adotado pela formulação do FGD. Deste modo, as amostras selecionadas foram a A1.PL3 (nível 1), a A3.PO7 (nível 2), a A4.PN3 (nível 3) e a A6.PS3 (nível 4), que são apontadas na Figura 5.4 e demonstradas na Figura 5.5. No Anexo 3 são exibidas todas as amostras com seus respectivos valores de FD e FGD.

Figura 5.6 – Amostras seleccionadas pertencentes à cada nível de degradação:  
 (A) A1.PL3 - nível 1; (B) A3.PO7 - nível 2; (C) A4.PN3 - nível 3; e (D) A6.PS3 - nível 4



Percebe-se, visualmente, que a patologia mais recorrente nas quatro amostras é a fissura, representada pelas linhas vermelhas. Nota-se também o aumento gradual desta patologia à medida que eleva o grau de degradação, principalmente nos pavimentos superiores e próximos às aberturas. A região do topo foi a mais afetada nas imagens B, C e D.

Na amostra A1.PL3 (Figura 5.5 A) é possível perceber a atuação apenas das fissuras e manchas. Estas patologias também somam quase que a totalidade das ocorrências na amostra A3.PO7 (Figura 5.5 B), com exceção de um pequeno descolamento da argamassa observado no terceiro pavimento.

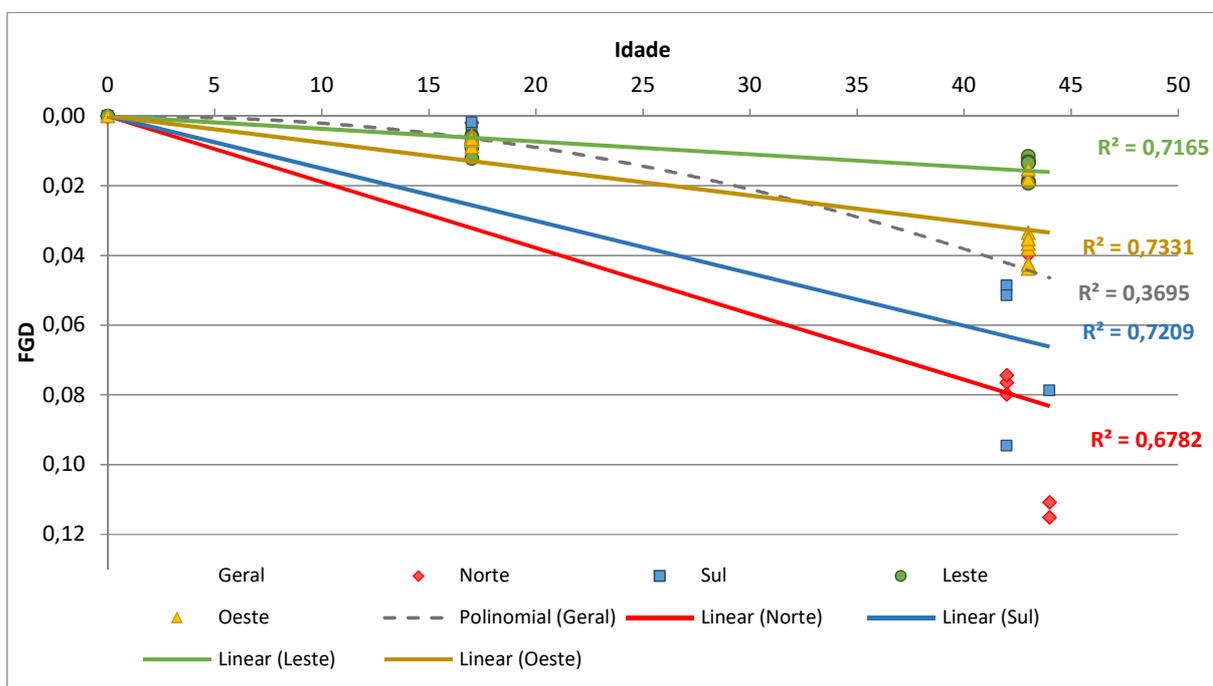
Já na amostra A4.PN3 (Figura 5.5 C), que se encontra próximo ao fim de sua vida útil, é possível observar, além de uma maior concentração das patologias ocorridas nas amostras anteriores, o surgimento da degradação da pintura principalmente pela ocorrência de fissuras e bolhas. Na amostra A6.PS3 (Figura 5.5 D), em que o revestimento estaria fora da vida útil, percebe-se a manifestação generalizada das fissuras, tanto na argamassa quanto na pintura, além de grandes regiões com pulverulência. De modo geral, o estágio das manifestações patológicas apresentado pelas amostras nos diferentes níveis é condizente à formulação proposta para o cálculo do FGD.

#### ***5.3.2.1 Curvas de degradação***

Neste tópico o FGD é associado em função das idades das amostras, propondo as curvas de degradação. Neste estudo, através da mensuração da degradação das amostras e formulação das curvas, permite-se identificar algumas condições e fatores que podem contribuir na degradação das fachadas. Permite também a busca por associações auxiliares nas definições da vida útil.

As curvas de degradação em função das orientações das amostras são apresentadas na Figura 5.6. Os resultados estão classificados para o total das amostras e também para as orientações cardeais consideradas. São excluídos os resultados espúrios, que ultrapassam um desvio padrão para mais e para menos da média das amostras das orientações, a fim de reduzir a discrepância entre os valores apresentados.

Figura 5.7 – Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (FGD x Idade)



Pode-se observar que as amostras estudadas estão agrupadas basicamente em dois grupos em relação à idade dos edifícios (17 e 42 anos). Observa-se que a degradação aumenta com a evolução da idade, o que é esperado. Todavia as curvas apresentadas ainda são muito preliminares, visto que há uma grande diferença entre as idades das amostras.

Observa-se que as amostras com idade inferior a 20 anos apresentam valores de FGD abaixo de 0,02. Já para as amostras com idades superiores a 40 anos a degradação, em todas as orientações, aumenta consideravelmente, alcançando valores máximos próximos a 0,12. Este comportamento evidencia o padrão esperado da degradação.

O estudo de Souza (2016) investigou a degradação de edifícios com revestimento cerâmico na mesma região, diferindo-se também em outras variáveis como a tipologia dos edifícios, a quantidade de amostras e até mesmo na metodologia proposta para a determinação da degradação. Apesar disto, os valores encontrados por esta pesquisadora são relativamente próximos aos determinados neste estudo, em que para amostras inferiores a 20 anos valores próximos à 0,03 e um valor máximo de aproximadamente 0,15 para amostras superiores a 40 anos.

O comportamento apresentado pelas curvas de degradação mostra tendências padronizadas para as orientações. Este padrão se caracteriza pela ordem das curvas das orientações manter-se a

mesma ao longo do tempo. Pode-se observar que a fachada Norte se apresenta mais crítica seguida pela Sul, Oeste e Leste. Com exceção das fachadas na orientação Sul, a ordem de degradação das demais segue a tendência encontrada por Freitas (2012), apontando a exposição solar como um dos principais fatores de degradação.

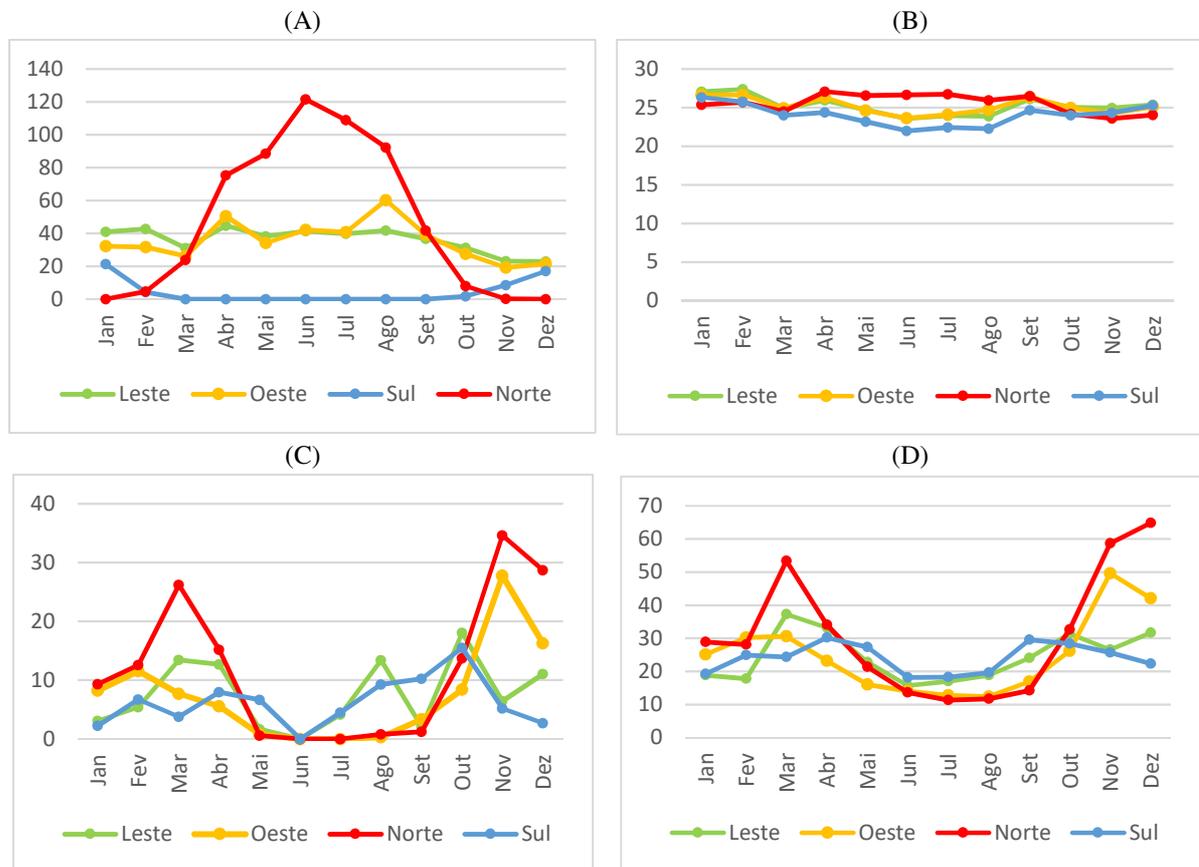
A curva denominada como geral (linha tracejada na cor cinza) representa a tendência considerando todos os dados, portanto sem divisão das orientações, e apresenta uma disposição polinomial de segunda ordem. Esta tendência foi observada por Gaspar (2009), considerando 95 amostras com revestimento em argamassa em Lisboa (Portugal). Souza (2016) e Pinheiro (2016) também encontraram esta tendência no estudo da degradação de fachadas com revestimento cerâmico em Brasília.

### ***5.3.2.2 Associação da degradação com as condições climáticas***

A fim de entender a elevada degradação ocorrida nas fachadas dispostas na orientação Sul, é efetuada a simulação computacional para averiguar a atuação dos possíveis agentes de degradação climáticos. Desta forma utiliza-se o programa WUFI® PRO 5.3 (Wärme- Und Feuchtetransport Instationär), que realiza a simulação do comportamento higrotérmico da envoltória da edificação e atende a todos os requisitos e critérios estabelecidos pela norma DIN EN 15026:2007. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.7.

As propriedades higrotérmicas dos materiais utilizados foram obtidas por meio de parâmetros e ensaios físicos, conforme proposto por Bauer *et al.* (2015). Os dados de inserção foram criteriosamente estudados e selecionados para que o programa forneça respostas adequadas e que reflitam a realidade dos materiais e componentes convencionais.

Figura 5.8 – Resultados da simulação higrotérmica: (A) Radiação solar direta média [ $W/m^2h$ ]; (B) Temperatura média da argamassa exterior [ $^{\circ}C$ ]; (C) Chuva dirigida acumulada mensal [ $L/m^2$ ]; e (D) Teor de umidade média da argamassa externa [ $Kg/m^2$ ].



Observa-se que, apesar da fachada na orientação Sul não receber radiação solar direta (Figura 5.7 A) durante boa parte do ano (entre fevereiro e outubro), a temperatura média da argamassa externa (Figura 5.7 B) apresentou pouca variação durante todo o tempo, sendo que a variação máxima observada ocorreu no mês de junho entre as fachadas Norte ( $26,5^{\circ}C$ ) e Sul ( $22,0^{\circ}C$ ). Observa-se também que o comportamento da chuva dirigida acumulada (Figura 5.7 C) na orientação Sul passou a ser predominante durante quase todos os meses entre maio a outubro. Simultaneamente, o teor de umidade médio (Figura 5.7 D) também passou a ser mais crítico neste período.

Deste modo, os altos valores de degradação apresentados para a orientação Sul podem ser explicados parcialmente pelo baixo desempenho frente à água devido a composição porosa do sistema de revestimento em argamassa. Muitas das causas listadas na Tabela 5.1 estão ligadas

e/ou afetadas pela presença de água no sistema, e as fachadas na orientação Sul, com menor exposição solar, podem apresentar uma deficiência na secagem quando comparada às demais.

### 5.3.2.3 Discussão sobre vida útil

A análise das curvas de degradação permite interpretar a evolução progressiva dos danos, traduzindo graficamente a perda de desempenho ao longo do tempo e, deste modo, estabelecendo relação com a vida útil das fachadas. A norma ABNT NBR 15575-1: 2013 determina a vida útil das fachadas com revestimentos aderentes igual a 20 anos e a vida útil do Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE) equivalente a 40 anos.

A partir das curvas da degradação é possível obter uma referência do indicador de degradação, conforme ilustrado na Figura 5.8. Os valores de referência dos índices FGD tanto para a curva geral, representando o conjunto completo dos dados, quanto para as curvas por orientação, estão representados na Tabela 5.9

Figura 5.9 – Valor de referência do indicador geral de degradação

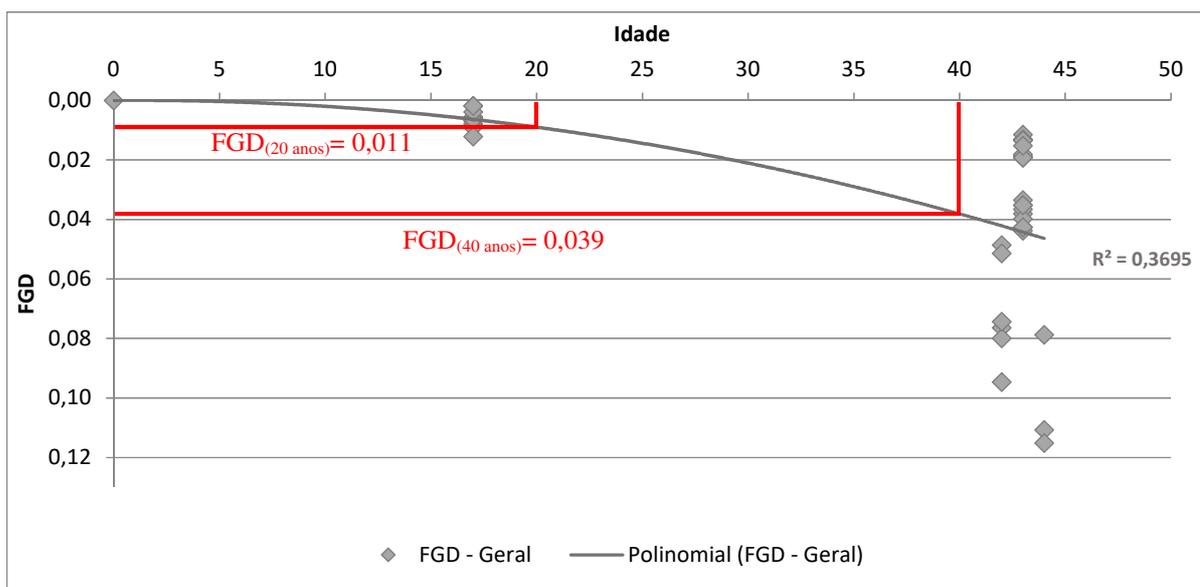


Tabela 5.9 – Valores de referência dos indicadores de degradação

Idade	FGD				
	Geral	Norte	Sul	Oeste	Leste
20 anos	0,011	0,038	0,030	0,016	0,008
40 anos	0,039	0,076	0,060	0,032	0,016

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentado pela curva geral foi de aproximadamente 0,37, este baixo valor deve-se principalmente pela baixa variação entre as idades das amostras. Vale ressaltar que o banco de dados deste estudo iniciou-se do zero, devendo ser continuado e expandido em estudos posteriores. Em ocasiões semelhantes no estudo da degradação de sistemas de revestimento cerâmico, Souza (2008), Bordalo *et al* (2010) e Souza (2016) obtiveram valores de  $R^2$  aproximados (0,37, 0,41 e 0,48 respectivamente).

## 5.4 ANÁLISE COMPLEMENTAR

Esta etapa tem como foco abordar duas análises de modo a complementar o estudo das patologias e da degradação das fachadas. Estas ponderações adicionais visam ampliar a discussão de possíveis implicações levantadas por análises realizadas em etapas distintas, a saber:

- Estabelecer uma matriz que avalie a propensão de determinadas patologias surgirem em função de outras patologias já estabelecidas, por decorrência de suas prováveis causas estarem interligadas (item 3.3.1); e
- Avaliar a frequência e a intensidade dos danos nas regiões, uma vez que a área degradada de cada região da fachada afeta diretamente a proporcionalidade dos danos (item 2.3.2.2).

### 5.4.1 Matriz inter-patologias

Pela matriz de correlação entre as causas prováveis / manifestação patológicas (Tabela 5.2) obtém-se a matriz de correlação inter-patologias (Tabela 5.10), apresentada em percentagem conforme descrito no item 3.3.1.

Tabela 5.10 – Matriz de correlação inter-patologias

	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
De.A	-	77%	19%	8%	4%	8%	4%	8%
Fi.A	60%	-	16%	8%	5%	6%	3%	6%
Pu.A	38%	42%	-	63%	67%	38%	17%	54%
Ef.A	17%	21%	63%	-	75%	33%	17%	50%
Ma.A	6%	9%	50%	56%	-	41%	25%	47%
De.P	22%	22%	50%	44%	72%	-	67%	78%
Fi.P	17%	17%	33%	33%	67%	100%	-	83%
Bo.P	20%	20%	65%	60%	75%	70%	50%	-

Considerado as patologias da argamassa, percebe-se um grande potencial de ocorrência de descolamento em associação com as fissuras (77%), porém observando a situação inversa é

apresentado índice moderado (60%); comportamento este também evidenciado por Pires *et al.* (2015) com índice de 57% para descolamento-fissura e de 63% na ordem inversa. É importante observar que apesar deste forte potencial entre estas duas patologias, nota-se pela Figura 5.1 (demostrada no item 5.2.1) a ocorrência do descolamento foi baixa (2%) enquanto que as fissuras apresentaram a maior ocorrência (52%). Ressalta-se que o descolamento da argamassa pode ocorrer sem que partes desta cedam, não sendo perceptíveis visualmente. Deste modo, é indicado futuras inspeções por termografia de infravermelho para constatar esta condição.

As patologias mais relacionadas à presença de água (pulverulência, eflorescência e mancha) mostraram-se com índices de correlação de moderado a alto, como é o caso da ocorrência da eflorescência com mancha (75%) e da pulverulência com mancha (67%). Pires *et al.* (2015) também evidenciou relações moderadas entre estas (61% entre eflorescência-mancha e 64% entre pulverulência-mancha).

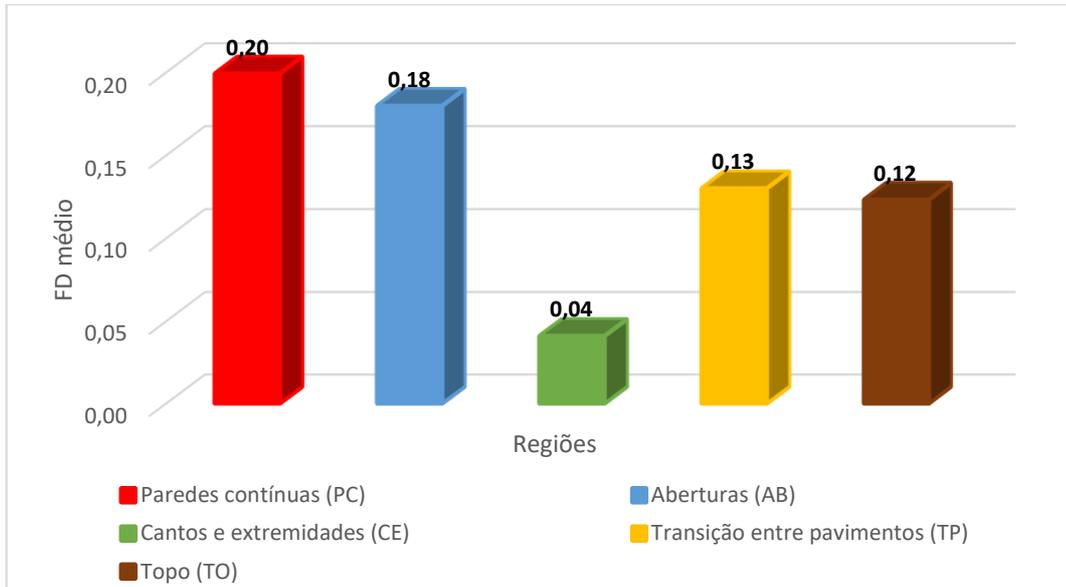
Observa-se também uma baixa correlação de ocorrência simultânea entre patologias associadas a diferentes naturezas, como é o caso das relacionadas a deformações (descolamento e fissura) com as ligadas à presença de água. Silvestre (2005), embora abordando um sistema de revestimento diferente, também confirmou este fato.

Sobre as patologias da pintura, observa-se uma grande correlação na ocorrência de fissura com descolamento (100%), de fissura com bolha (83%) e de descolamento com bolha (78%). No geral, a ocorrência simultânea apenas das patologias de pintura se manteve igual ou acima de 50%.

#### **5.4.2 Análise do $FD_R$ nas regiões da fachada**

Nesta análise são realizadas duas investigações nas diferentes regiões que compõem as fachadas, uma abordando a frequência de incidência e outra a intensidade dos danos. Inicialmente, procura-se determinar a distribuição quantitativa das anomalias nas diferentes regiões. Para isto, é utilizado o  $FD_R$ , expresso na equação 2.2, que permite quantificar para cada região em estudo, a frequência dos danos incidida. Na Figura 5.9 é apresentado o fator de dano médio das regiões.

Figura 5.10 – Distribuição da incidência de danos ( $FD_R$ ) médio nas regiões da fachada

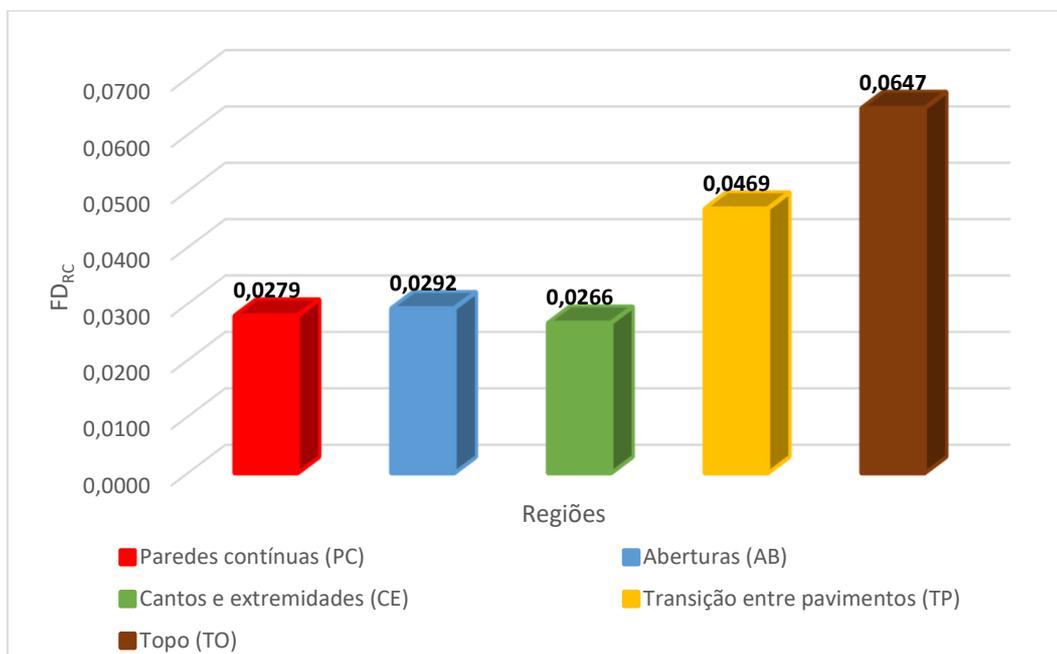


As regiões de maiores incidências correspondem as PC (0,20) e AB (0,18) enquanto os CE apresentaram menor incidência (0,04), e as regiões de TP (0,13) e TO (0,12) demonstraram valores intermediários de incidência de danos.

Nota-se que as regiões com maiores áreas se mostram com maior incidência do que as regiões com menores áreas, como é o caso das PC e AB apresentarem maior  $FD_R$  que as demais. Ou seja, as regiões com maiores áreas expostas aos agentes de degradação mostram-se mais danificadas do que as regiões com menores áreas. Isto ocorre pois neste primeiro exame não se leva em conta a proporcionalidade das áreas.

A análise do  $FD_{RC}$  (equação 2.4) corrigida pelo  $CC_r$ , fator de correção da proporcionalidade, permite comparar a exposição e o efeito da degradação levando em conta a extensão e proporção das áreas de cada região, deste modo determinando a intensidade da degradação. Na Figura 5.10 é apresentada esta intensidade média da degradação em cada região da fachada ( $FD_{RC}$ ).

Figura 5.11 – Intensidade média da degradação nas regiões das fachadas ( $FD_{RC}$ )



A região de TO é destacada devido a maior intensidade de danos (0,0647), o que pode ser explicado possivelmente devido a maior exposição desta região à radiação solar, chuvas, dentre outras ações que resultam no dano da argamassa (Yang *et al.*, 2015). A região de TP apresenta a segunda maior intensidade de danos (0,0469), muito provavelmente devido ao alto estresse mecânico, favorecendo a concentração de tensões e deformações estruturais, causando diretamente patologias como fissura e descolamento (Bauer *et al.*, 2011, 2014). As demais regiões apresentaram índices próximos, na seguinte disposição: AB (0,0292); PC (0,0279); e CE (0,0266).

Com exceção deste último (CE), observa-se uma inversão na configuração das regiões em relação a simples distribuição dos danos (FD), permitindo uma melhor compreensão da relação entre intensidade de degradação e frequência de ocorrência das patologias. O que comprova que a correção da proporcionalidade das áreas é essencial neste estudo, afetando diretamente os resultados.

## 5.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados do estudo da degradação das fachadas em argamassa na região de Brasília-DF. Para isto, este capítulo foi dividido em quatro tópicos principais. No primeiro tópico classificaram-se a gravidade relativa de cada patologia

de acordo com suas causas e as consequências na queda de desempenho; no segundo analisou-se o Fator de Danos (FD), quanto a ocorrência nas diferentes orientações cardeais; no terceiro foi proposto e avaliado a metodologia de cálculo do Fator Geral de Danos (FGD); e no quarto foi realizado duas análises complementares no estudo da degradação.

No primeiro item foram classificadas e correlacionadas as manifestações patológicas com as causas prováveis de suas ocorrências e com a queda de desempenho causada pelos danos. Então, foram determinadas, através de dois indicadores, quais patologias possuem uma maior importância em relação às causas ( $I_c$ ) e em relação à queda de desempenho ( $I_d$ ). Estes resultados estão sintetizados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Indicadores de importância relativa das patologias

Indicadores	Patologias							
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
$I_c$	0,17	0,24	0,11	0,12	0,15	0,08	0,04	0,09
$I_d$	0,22	0,19	0,19	0,11	0,07	0,11	0,07	0,04

Observou-se que fissura, descolamento e pulverulência apresentaram maiores importâncias nestes indicadores, enquanto, de modo geral, as patologias mais superficiais como as de pintura, apresentaram menor importância. Estes resultados sintetizam a relevância de cada patologia levando em consideração suas possíveis causas.

No segundo tópico em que foi analisada a extensão dos danos por meio da ocorrência percentual medida de cada patologia, constatou-se que as fissuras são as mais recorrentes seguidas pelas manchas e pelas patologias de pintura. Alguns pesquisadores em diferentes regiões também constataram uma grande ocorrência de manchas, como foi o caso de Gaspar (2009), estudando a vida útil das edificações com revestimento em argamassa em Lisboa (Portugal), e de Pacheco (2016), analisando manifestações patológicas em Vitória- ES.

Se analisada a ocorrência média do FD por orientação, verificou-se que para as duas patologias de argamassa mais recorrentes (fissura e mancha) as fachadas na orientação Norte são mais degradadas, seguidas pelas fachadas na orientação Sul, Oeste e Leste. Quando analisadas as patologias de pintura, a orientação Sul passa a ter uma maior recorrência de danos, seguida pela norte, Oeste e Leste. Estes valores podem ser observados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 –  $FD_{Médio}$  das patologias por orientação cardinal

Orientações	Patologias							
	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
<b>Norte</b>	0,011	0,533	0,014	0,005	0,254	0,062	0,172	0,067
<b>Sul</b>	0,025	0,383	0,015	0,007	0,178	0,085	0,231	0,116
<b>Oeste</b>	0,010	0,342	0,027	0,008	0,177	0,050	0,010	0,015
<b>Leste</b>	0,015	0,257	0,011	0,003	0,141	0,029	0,012	0,022

Já no terceiro tópico foram propostas adaptações nas constantes do cálculo do FGD, com objetivo de adequar o cálculo para o sistema de revestimento em argamassa. Uma destas adaptações foi a modificação de sua constante de ponderação ( $K_{cn}$ ) que passa a depender das matrizes de correlações (causas / patologias e queda de desempenho / patologias) desenvolvidas anteriormente (item 5.3.1.2). Além da adaptação das demais constantes ( $K_n$  e  $K_{máx}$ ) para o sistema de revestimento em argamassa e suas patologias (item 5.3.1.1).

O método proposto apresentou resultados condizentes com a degradação real das amostras, de onde tornou-se possível delinear as curvas de degradação por orientações. Os resultados apresentados demonstraram uma maior degradação da fachada Norte, seguida pela Sul, Oeste e Leste. Com exceção da orientação Sul, a configuração de degradação das demais orientações seguiu o padrão encontrado por Souza (2016), estudando fachadas com revestimento cerâmico na mesma região.

A elevada degradação encontrada na orientação Sul não era esperada, tendo em vista que esta orientação é a que menos recebe incidência solar na região de Brasília-DF, este fator é apontado por Freitas (2012) como uma das principais causas da degradação. Procurando elucidar este resultado simulou-se o comportamento higrotérmico das fachadas em todas orientações ao longo de um ano. O resultado da simulação mostrou maior incidência de chuva dirigida e teor de umidade nas fachadas com orientação Sul por aproximadamente cinco meses, demonstrando a sensibilidade deste sistema poroso à degradação pela presença de água. Este resultado está de acordo com o encontrado por Zanoni (2015) e Nascimento (2016) que encontraram a chuva dirigida sendo predominante na região Sul durante o período seco, afetando o teor de umidade dos componentes da fachada nesta orientação.

Finalmente, no quarto tópico foram realizadas duas análises complementares. Uma delas estabelecendo uma matriz que avalia a propensão do surgimento de patologias em função de outras patologias já estabelecidas, por decorrência de suas prováveis causas estarem

interligadas. Esta análise identificou uma forte interdependência principalmente das patologias associadas à presença de água, comportamento semelhante foi observado por Silvestre (2005). Além de uma interdependência entre forte e moderada da fissura em relação ao descolamento, semelhante ao notado por Pires *et al.* (2015).

Posteriormente, analisou-se a frequência das patologias por região através do  $FD_R$ , e a intensidade dos danos por meio do  $FD_{RC}$ . A seguir, pela ordem decrescente, são listadas as regiões que apresentam maiores frequência e intensidade.

- Frequência das patologias ( $FD_R$ ):
  - Paredes contínuas;
  - Aberturas;
  - Transição entre pavimentos;
  - Topo;
  - Cantos e extremidades.
- Intensidade das patologias ( $FD_{RC}$ ):
  - Topo;
  - Transição entre pavimentos;
  - Aberturas;
  - Paredes contínuas;
  - Cantos e extremidades.

A maior intensidade de danos na região de topo pode ser explicada, possivelmente, devido a maior exposição, desta região, aos agentes de degradação climáticos que resultam no dano da argamassa (Yang *et al.*, 2015). Já na região de transição de pavimentos ocorre, provavelmente, devido ao alto estresse mecânico incidente, que pode causar deformações estruturais, afetando diretamente em patologias como fissura e descolamento (Bauer *et al.*, 2011, 2014).

## 6. CONCLUSÕES

O presente estudo quantificou, adaptando a metodologia do MMD, a degradação de fachadas de edifícios residenciais compostas por revestimentos em argamassa. Para isto, foram propostas modificações nas constantes do indicador de degradação (FGD), caracterizando-o para as especificações determinadas. A metodologia proposta para inspeção e mapeamento das patologias demonstrou-se apta a mensurar a degradação. A partir dos valores mensurados para a degradação em relação a idade das amostras é possível a obtenção da curva de degradação, de onde são obtidos os resultados do FGD para o desempenho de acordo com a vida útil do sistema de vedação vertical.

Pelo levantamento e mapeamento dos edifícios foram identificadas oito patologias atuantes na região em estudo, as quais podem ser classificadas em 2 grupos, de acordo com a camada de ocorrência, sendo:

- Cinco ocorridas no revestimento em argamassa (descolamento, fissura, pulverulência, eflorescência e mancha); e
- Três incidentes sobre a película de pintura (descolamento, fissura e bolha).

As patologias mais incidentes observadas foram as fissuras e as manchas, que somam juntas 79% das ocorrências patológicas. Enquanto o descolamento, a pulverulência e eflorescência apresentam ocorrências bastantes baixas, somando cerca de 3%. As patologias incidentes na película de pintura somam 18% das ocorrências, distribuídas em fissuras (7%), descolamentos (6%) e bolhas (5%).

Quanto às causas que podem levar ao surgimento das patologias, elas são agrupadas de acordo com as etapas de ocorrência (falha de projeto, falha herdadas, falhas de execução e falha de uso e manutenção). Sendo observado uma forte correlação destas causas com a fissuração, o descolamento e mancha na argamassa. Esta tendência também é confirmada quando se observa o índice  $I_c$  (indicador da importância relativa das patologias frente suas causas), em que estas três patologias apresentaram valores entre 0,15 e 0,20, enquanto que as demais se mantiveram próximas ou abaixo de 0,10.

Na análise da queda de desempenho, correlacionando as patologias e suas consequências na estrutura, estanqueidade e estética do revestimento, foi apontado pelo  $I_d$  (indicador da importância relativa das patologias frente à queda de desempenho) que o descolamento, a fissura e a pulverulência demonstram serem mais prejudiciais ao revestimento. As manchas, que

na análise das causas estava entre as mais importantes, nesta não demonstrou grande relevância, ficando próximas às demais patologias, com  $I_d$  próximo ou abaixo de 0,10.

Na análise do FD por orientação cardinal, notou-se a influência de elementos climáticos na incidência dos danos. Considerando todas patologias, as fachadas na orientação Norte e Sul são mais danificadas em relação as Oeste e Leste. Este comportamento é evidente nas patologias com maiores ocorrências na argamassa (fissuras e manchas). Já a degradação na camada de pintura demonstrou ser maior na orientação Sul, seguido por Norte, Oeste e Leste.

Já na análise do Fator de Danos das Regiões as patologias mais frequentes foram nas paredes contínuas, aberturas e transição entre pavimentos, enquanto que a intensidade das patologias foi maior no topo, seguido pela transição entre pavimentos e paredes contínuas.

Para o cálculo do FGD foram propostas adaptações nas constantes ( $K_n$  e  $K_{cn}$ ) do equacionamento. A constante  $K_{cn}$ , que representa a importância relativa das patologias, foi classificada pela análise conjunta dos indicadores  $I_c \times I_d$ . A fissura, o descolamento e a pulverulência evidenciaram maior importância relativa frente às demais. As fissuras devem ser observadas com cautela pelos projetistas, pois além de demonstrar maiores valores no estudo da degradação, esta patologia foi a que mais ocorreu (52%) nas amostras observadas. Desta forma, os projetistas devem priorizar técnicas e materiais visando combater ou minimizar o surgimento desta patologia.

Já o descolamento e pulverulência, apesar de demonstrarem grande importância, suas ocorrências foram baixas, somando 3%. Este fato pode ter ocorrido neste estudo pela inspeção visual não ser o método mais adequado na observação do descolamento, sendo indicada a inspeção por termografia de infravermelho.

A constante  $K_n$ , peso relativo à condição das amostras, foi dividido em 4 níveis para as três patologias mais importantes (fissura, descolamento e pulverulência), enquanto que as demais patologias observadas foram divididas em apenas 3 níveis. Ressalta-se que o terceiro nível representa o final da vida útil do revestimento.

As adaptações propostas no equacionamento para o cálculo do indicador de degradação (FGD), demonstraram-se aptas à quantificação da degradação. A metodologia foi aplicada em um conjunto de 60 amostras divididas em dois grupos de idade (inferior a 20 anos e superior a 40 anos). Os resultados obtidos demonstraram numericamente a degradação observada visualmente durante a inspeção e mapeamento. Como ressalva, observa-se que esta metodologia seja

aplicada a um maior conjunto de amostras, incorporando aos resultados observados nesta pesquisa para melhor compreensão do comportamento da degradação.

Os valores do FGD observados na curva geral de danos para a vida útil estabelecida pela norma NBR 15575:2013 para revestimento de fachada aderido (20 anos) e revestimento de vertical externo (40 anos) foram de 0,011 e 0,039, respectivamente.

As curvas de degradação por orientação das amostras demonstraram a interferência dos agentes climáticos, sendo observada degradação mais intensa da fachada Norte, seguida por Sul, Leste e Oeste. Pela simulação higrotérmica foi possível concluir que, na orientação Sul, a principal interferência climática na degradação foi a chuva dirigida, ocasionando a elevação do teor de umidade, e a baixa incidência solar, dificultando o processo de secagem do revestimento em argamassa.

A partir dos resultados obtidos foi possível evidenciar o comportamento de evolução da degradação conforme a idade das amostras analisadas. Outra importante constatação neste estudo foi a demonstração, por meio da análise da orientação cardinal, da influência dos agentes climáticos na degradação. A orientação Norte apresentou maior área danificada, quando analisado o grupo de patologias da argamassa. Já quando analisado o grupo de patologias da pintura, a orientação Sul passa a apresentar maiores danos. Deste modo, conclui-se que a incidência dos agentes climáticos, como a incidência solar e de chuvas dirigidas, intensificam a degradação. Os resultados desta pesquisa contribuem para a melhor compreensão da degradação das fachadas. Podendo auxiliar o meio técnico de profissionais e projetistas na busca de melhores soluções para atendimento aos requisitos de durabilidade e vida útil das edificações.

## **6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Aplicar a metodologia utilizada de modo a ampliar as amostras, diversificando a tipologia e idade dos edifícios e ampliar o universo de estudo.
- Aplicar a metodologia utilizada no cálculo dos indicadores de degradação em edifícios compostos por revestimento cerâmico.
- Aplicar a metodologia utilizada de maneira a expandir o estudo da degradação em diferentes regiões do país.
- Sistematizar o método de mapeamento utilizado nesta pesquisa, e aplica-lo em novos edifícios.
- Realizar inspeção com auxílio da termografia de infravermelhos de modo melhor identificar patologias não detectadas na inspeção visual.
- Implementar uma análise buscando estabelecer constantes de comparação entre diferentes sistemas de revestimento ou outras variáveis.
- Implementar uma análise estatística para a avaliação de vida útil.

## 7. REFERÊNCIAS

- AHZAHAR, N.; KARIM, N. A.; HASSAN, S. H.; EMAN, J. A *study of contribution factors to building failures and defects in construction industry*. ***Procedia Engineering***, v. 20, p. 249–255, 2011.
- ALLAHVERDI, A; KANI, E. N; HOSSAIN, K. M. A; LACHEMI, M. *Methods to control efflorescence in alkali-activated cement-based materials*. In ***Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes***, p. 463-483, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E632-82**: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials. Philadelphia, 1996.
- ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. *Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa*. In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. **Anais...**, 2003.
- ANSELMO, P. J. A. **Previsão da vida útil de rebocos de fachadas de edifícios antigos- Metodologia baseada na inspeção de edifícios em serviço**. Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.
- 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
- ARAÚJO Jr, J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa**. 1. ed. São Paulo, SP, (ABCP). 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 03/10/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Norma de Manutenção Predial. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E. *Novas aplicações no estudo da degradação, patologia e previsão de vida útil dos edifícios*. In: *II Congresso Brasileiro de Patologia das Construções*. **Anais...** Belém, 2016.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos-uma análise de desempenho**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 168p, 1987.

BAUER, E; CASTRO, E. K. *Vida útil dos revestimentos de fachada - avaliação das manifestações patológicas nas fachadas de edifícios de Brasília*. In: *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. **Anais ...** Fortaleza, 2013.

BAUER E; CASTRO E. K; LEAL F. E; ANTUNES G. R. *Identification and quantification of failure modes of new buildings façades in Brasília*. In: *12th DBMC – International Conference on Durability of Buildings Materials and Components*, **Anais...** Porto, Portugal, pp. 1089-1096, 2011.

BAUER E; KRAUS E; SILVA M. N. B; ZANONI V. A. G. *Evaluation of Damage of Building Facades in Brasília*. In: *13th DBMC – International Conference on Durability of Buildings Materials and Components*, **Anais...** São Paulo, Brazil, pp. 535–542, 2014.

BAUER, E; NASCIMENTO, M. L. M.; CASTRO, E. K. **Parâmetros e ensaios físicos de materiais e componentes da fachada**. Relatório Interno – Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) – UnB/ENC, 2015.

BAUER, E.; SANTOS, C. C. N.; MORAIS, D. M.; PEREIRA, C. H. A. F. *Avaliação da consistência das argamassas industrializadas projetadas utilizando o método vane. e- Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil*, v.2, n.1, p. 54-63, 2005.

BELISÁRIO, W. S. J. **Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-022<sup>a</sup>/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101p, 2016.

BORDALO, R.; BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. *A Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. Teoria e Prática na Engenharia Civil*, p. 55–69, 2011.

BORTAK, T. N. **Guide to Protective Coatings: Inspection and Maintenance**. United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Sep 2002.

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

\_\_\_\_\_. **BS 7543:2015** Guide to durability of buildings and building elements, products and components. London, 2015.

BRITO, J. **Desenvolvimento de um Sistema de gestão de obras de arte em betão**. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA S478-95**: Guideline on Durability in Buildings, Canadian, 1995.

CARRETERO-AYUSO, M. J.; MORENO-CANSADO, A.; BRITO, J. Study of the prevalence of critical and conflict-prone points in facades. **Engineering Failure Analysis**, v. 75, 2016.

CHAI, C. **Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores**. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. 276p, 2011.

CHAI, C.; BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. *Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies*. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, 2014.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2009.

CIB. "*Building pathology: a state-of-the art report*". CIB Report. Publication 155. Delft: **International Council for Research and Innovation in Building and Construction**, 77p, 1993.

CIB. "*Building pathology: a state-of-the art report*". CIB Report. Publication 393. Delft: **International Council for Research and Innovation in Building and Construction**, 200p, 2013.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes de fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 208 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 15026** Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. CEN, Brussels, Belgium, 2007.

DIAS, J. L.; SILVA, A.; CHAI, C.; GASPAR, P.L.; BRITO, J. *Neural networks applied to service life prediction of exterior painted surfaces*. **Building Research and Information** 42(3): 371-380, 2014.

EUSÉBIO, M. I.; RODRIGUES, M. P. **Anomalias em pinturas de paramentos exteriores e interiores de paredes de alvenaria e respectivas soluções de reparação**. Cadernos Edifícios 05. Lisboa: LNEC, 2005.

FALCÃO BAUER, R.J. **Falhas em Revestimentos**. Capítulo 30. p. 903-945. In: L.A. Falcão Bauer (coord.). *Materiais de construção*. v. 2. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassa e Revestimento – Estudo e Procedimento de Execução**. Editora Pini, São Paulo, SP, 2009.

FLORES, I. S.; BRITO, J. *Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios*. *Revista Engenharia Civil*, p. 47–58, 2002.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. P. *Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades*. *Journal of Building Appraisal*, v.2, p. 142-156, 2006.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. P. *Stains in façades' rendering — Diagnosis and maintenance techniques' classification*. *Construction and Building Materials*, v. 22, p. 211–221, 2008.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. P. *Técnicas de diagnóstico e de manutenção para remoção de manchas em paredes rebocadas*. In: *1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*. *Anais...*, Lisboa: APFAC, 2005.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na optica da manutenção predictiva**. Dissertação de Doutorado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

FREITAS, J. G. **A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia – GO**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

GALBUSERA, M. M. **Application of the factor method to the prediction of the service life of ceramic external wall claddings**. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

GALBUSERA, M. M.; BRITO, J.; SILVA, A. F. F. *Application of the Factor Method to the Prediction of the Service Life of Ceramic External Wall Cladding*. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2014.

GARRIDO, M. A.; PAULO, P. V.; BRANCO, F. A. *Service life prediction of façade paint coatings in old buildings*. *Construction and Building Materials*, pp. 394-402, 2012.

- GARRIDO, M. A. **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, K.; CASALS, M.; GANGOLELLS, M. *Classifying system for façades and anomalies.* *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 10, p. 1–10, 2016.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas.* In: *3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Anais...*, Lisboa, 2010.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Limit States and Service Life of Cement Renders on Façades.* *Journal of Materials in Civil Engineering*, n. October, p. 1396–1404, 2011.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Mapping defect sensitivity in external mortar renders.* *Construction and Building Materials*, v. 19, p. 571–578, 2005.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators.* *Building and Environment*, v. 43, p. 1818–1828, 2008.
- 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 Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- GONÇALVES, A; BRITO, J; BRANCO, F. *Reabilitação de paredes de alvenaria revestidas.* In: *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção Anais...*, Lisboa. 2007.
- GONÇALVES, T. D. *Colocação a descoberto de alvenarias antigas originalmente revestidas e sujeitas à acção de sais solúveis. Utilização de hidrófugos de superfície.* In: *3º encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Anais...*, Lisboa, Portugal, 2003.
- GONÇALVES, T D; RODRIGUES, J. D. **Argamassas de Revestimento para Paredes Afectadas por Cristalização de Sais Solúveis: Influência do substrato.** Artigo INEC, Portugal, 2010.

HENRIQUE, E. S. **Sensibilidade à degradação das fachadas: Estudo dos aspectos construtivos**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 19A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102p, 2017.

HOVDE, P. *Factor methods for service life prediction*. In: **CIB W080/RILEM 175: Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components**, Task Group: Performance Based Methods of Service Life Prediction, Trondheim, Norway, p. 1–51, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241:1984**: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered, 1984.

\_\_\_\_\_. **ISO 15686-2**: Buildings - Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures, 2012.

JERNBERG, P.; SJÖSTRÖM, C.; LACASSE, M. A.; BRANDT, E.; SIEMES, T. *Service life and durability research*. In: **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components**. CIB Publication 295, p.11-59. CIB, 2004

LAMBOURNE, R.; STRIVENS, A.T. **Paint and Surface Coatings - Theory and Practice**. 2ª ed. 1999. 767p.

MACÊDO, M. S. P. H. **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, 2017.

MARQUES, F. P. F. **Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Técnico Lisboa, Lisboa, 2013.

MARTINEZ, S. E.; SÁNCHEZ, V. M.; GONCÁLEZ, J. B. *Durability and accelerated aging tests in construction products*. **Materials Technology**, p. 1–10, 2012.

MASTERS, L. W. BRANDT, E. Prediction of service life of building materials and components, RILEM Technical Committee, CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report. **Materials and Structures**, CIB Publication, v. 20 p. 55-77, 1987.

MASTERS, L. W. BRANDT, E. Systematic methodology for service life prediction of building materials and components, RILEM recommendations, CIB W80/RILEM 71-PSL TC. **Materials and Structures**, CIB Publication, v. 22, p.85-92, 1989.

MONJO CARRIÓ, J. *Durability vs vulnerability*. **Informes de la Construcción**, v. 59, p. 43–58, 2007.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-018A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 173p, 2016.

NETO, N.; BRITO, J. Inspection and defect diagnosis system for natural stone cladding. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, p. 1433–1443, 2011.

PACHECO, C. P. **Análise das manifestações patológicas nos sistemas de revestimentos externos**. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2016.

PEREIRA, F. N. J. C.; FULVIO, L.; NUNES, M. R. M.; VIRGÍNIA, M. S. M.; SOUZA, R. S. E.; LAERTE, S. A pintura na manutenção de edifícios. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. **Anais...**, Belo Horizonte, 2003.

PINHEIRO, C. S. P. M. **Modelos de gestão da degradação de fachadas em pedra de edifícios antigos**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

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.

PIRES, R.; BRITO, J.; AMARO, B. *Inspection, diagnosis and rehabilitation system of painted rendered façades*. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, V. 29, ed. 2, 2015.

RODRIGUES, M. F. S.; TEIXEIRA, J. M. C.; CARDOSO, J. C. P. *Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology*. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 2741–2750, 2011.

SABBATINI, F. H; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento argamassa**. IV ed. O nome da Rosa, São Paulo, 83 p, 2008.

SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água**. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-06A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 248p, 2016.

SANTOS, D. G; MACEDO, M. S. H; SOUZA, J. S; BAUER, E. *Mensuração e distribuição de patologias na degradação em argamassa*. In: **PATORREB 2018, Gestão e Gerenciamento**, ano 4, n° 8, p. 13–17, 2018.

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.

SHOHET, I. PACIUK, M. *Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions*, **Journal of Construction Management and Economics**, v. 22, p. 1081–1090, 2004.

SHOHET, I.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. *Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach*. In: **Durability of Building Materials and Components**, v. 2 vols., **Anais...**, Ottawa, 1999.

SILVA, A; BRITO, J; GASPAR, P. L. **Methodologies for service life prediction of buildings: With a focus on façade claddings**. Springer, 2016.

SILVA, A. F. F.; BRITO, J.; GASPAR, P. L. *Comparative analysis of service life prediction methods applied to rendered façades*. **Materials and Structures**, 2016.

SILVA, A. F. F.; BRITO, J.; GASPAR, P. L. *Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate)*. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 9, p. 3674–3684, 2011.

SILVA, A. F. F.; GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Durability of current renderings: A probabilistic analysis*. **Automation in Construction**, v. 44, p. 92–102, 2014.

- SILVA, A. F. F.; DIAS, J. L.; GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Statistical models applied to service life prediction of rendered façades. Automation in Construction*, v. 30, p. 151-160, 2013.
- SILVA, A. F. F. **Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes.** Dissertação (Mestrado) Universidade técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2009.
- SILVA, A. R. R. **Patologia em fachadas com revestimento de ladrilhos cerâmicos.** Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia na área de especialização em edificações. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2010.
- 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.
- SILVESTRE, J. D. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.
- SOUSA, R. D. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada.** Dissertação (Mestrado), Universidade técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2008.
- 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.; AGOPYAN, V.; BRAZOLIN, S. **Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos.** In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, Rio de Janeiro, 1995.
- Vázquez, P; Thomachot-Schneider, C; Mouhoubi, K; Fronteau, G; Gommeaux, M; Benavente, D; Bodnar, J. L. *Infrared Thermography monitoring of the NaCl crystallisation process. Infrared Physics & Technology*, ed. 71, p. 198-207, 2015.
- XIMENES, S., BRITO, J., GASPAR, P. L. SILVA, A. *Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls. Materials and Structures*, p. 2235–2249, 2015.

YANG J; WANG Z. H; KALOUSH K. E. *Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 47(1), pp. 830-843, 2015.*

ZANONI, V.A.G. Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 293 p, 2015.

## ANEXO 1 – MATRIZ DE CAUSAS PROVÁVEIS / MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ABORDADAS NESTE ESTUDO

Causas	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
C-A1	2 Materiais incompatíveis podem gerar falta de aderência	2 Materiais inadequados (finos) podem elevar a retração na argamassa	2 Traços inadequados podem gerar falta resistência superficial	1 Materiais com elevada quant. de sais solúveis aumenta a porosidade	1 Materiais podem elevar a porosidade e dificultar a secagem	1 Pode haver incompatibilidade iônica repelindo a pintura	0 -	1 Pode haver incompatibilidade iônica repelindo a pintura
C-A2	2 O chapisco aumenta a aderência	1 O chapisco pode auxiliar na distribuição de tensões	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -
C-A3	2 Camadas muito espessas podem diminuir a aderência	2 A maior espessura pode ocasionar a retração	0 -	1 A porosidade pode favorecer o transporte de água	0 -	0 -	0 -	0 -
C-A4	1 Estabiliza a movimentação das camadas	2 Distribui melhor as tensões	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -
C-A5	1 Prejudica a movimentação das camadas	1 Diminui as tensões	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -
C-A6	0 -	0 -	1 Diminui o molhamento da superfície	1 Diminui o molhamento da superfície	2 Diminui o molhamento da superfície	1 Diminui o molhamento e movimentação de água	0 -	1 Diminui o molhamento e movimentação de água
C-A7	1 Pode ser ocasionada pela deformação da estrutura	2 Falta de tela	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -
C-B1	0 -	2 Gera fissuras nos cantos	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -

(Continuação) ANEXO 1 – Matriz de causas prováveis / manifestações patológicas abordadas neste estudo

C-B2	2	Pode ser ocasionada pela deformação em excesso	2	Esta causa implica diretamente na fissuração	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -					
C-B3	0 -		0 -		2	A umidade provoca perda da resistência	2	Patologia é causada pela lixiviação de sais solúveis	2	Provoca o desenvolvimento de micro-organismos	1	Condensação do vapor d'água na película de pintura	0 -	2	Condensação do vapor d'água na película de pintura
C-C1	1	O não cumprimento do tempo entre etapas influencia na aderência	1	Pode influenciar na retração	0 -	0 -	0 -	0 -	2	Respeitar a cura e secagem da argamassa antes da pintura	2	Respeitar a cura e secagem da argamassa antes da pintura	2	Respeitar a cura e secagem da argamassa antes da pintura	
C-C2	1	O gerenciamento de mat. e processos afeta na qualidade da argamassa	2	Possui maior probabilidade de erro na execução afetando a argamassa	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
C-C3	1	O gerenciamento de mat. e processos afeta na qualidade da argamassa	1	O gerenciamento de mat. e processos afeta na qualidade da argamassa	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
C-C4	1	O gerenciamento de mat. e processos afeta na qualidade da argamassa	1	O gerenciamento de mat. e processos afeta na qualidade da argamassa	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
C-C5	1	O tempo de aplicação da argamassa influencia na aderência	2	O tempo de aplicação da argamassa e + água influencia na retração	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	

(Continuação) ANEXO 1 – Matriz de causas prováveis / manifestações patológicas abordadas neste estudo

C-C6	2	O preparo da base influencia diretamente na aderência	1	Substrato muito seco pode ocasionar retração	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-C7	2	Aplicação em tempo chuvoso ou muito seco dificulta a aderência	2	Aplicação em tempo muito seco ocasiona retração	2	Aplicação em tempo chuvoso afeta na coesão superficial	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-C8	1	A argamassa pode ser produzida mais fluida	1	Pode dificultar a aplicação e sarrafeamento da argamassa	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-C9	2	Camadas muito espessas podem afetar a aderência	1	Em decorrência da baixa aderência, pode também gerar fissuras	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-C10	0	-	2	Este ato pode causar fissuração da argamassa	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-C11	1	Não curar o revestimento afeta a aderência	2	Não curar o revestimento o deixa suscetível a fissuras	1	Não curar o revestimento prejudica a resistência superficial	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
C-D1	0	-	0	-	0	-	1	A umidade resultante dos condensadores pode causar eflorescência	1	Esta umidade pode auxiliar no desenvolvimento de micro-organismos	0	-	0	-	0	-

(Continuação) ANEXO 1 – Matriz de causas prováveis / manifestações patológicas abordadas neste estudo

C-D2	0	-	1	Os furos no revestimento podem causar fissuração	0	-	1	Pode armazenar e infiltrar água através dos furos no revestimento	1	Podem favorecer o desenvolvimento de micro-organismos	0	-	0	-	0	-
C-D3	0	-	0	-	0	-	1	Os furos no revestimento podem infiltrar água	1	Pode ser uma barreira para água, além de sofrer corrosão	0	-	0	-	0	-
C-D4	0	-	0	-	0	-	0	-	2	Causa ligada à correção desta patologia	0	-	0	-	0	-
C-D5	0	-	0	-	2	Juntas defeituosas podem infiltrar água no revestimento e prejudicar a aderência	2	Juntas defeituosas podem infiltrar água no revestimento causar eflorescência	2	Juntas defeituosas podem infiltrar água no revestimento causar manchas	0	-	0	-	1	A água infiltrada pelas juntas pode formar bolhas na pintura
C-D6	0	-	0	-	0	-	0	-	2	O procedimento pode danificar a película, facilitando as manchas	2	Produtos e procedimentos que podem comprometer a película	2	Produtos e formas de execução que podem comprometer a película	1	Produtos e formas de execução que podem comprometer a película
C-D7	0	-	0	-	2	Exposição do revestimento poroso prejudica sua resistência superficial	2	Exposição do revestimento poroso pode ocasionar transporte de sais solúveis	2	Exposição do revestimento poroso pode favorecer micro-organismos	2	Camada de pintura danificada	2	Camada de pintura prejudicada	2	Camada de pintura prejudicada

Legenda: 2 (correlação elevada ou forte); 1 (possível correlação); 0 (correlação baixa ou nula)

**ANEXO 2 – MATRIZ DA QUEDA DE DESEMPENHO / MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS ABORDADAS NESTE ESTUDO**

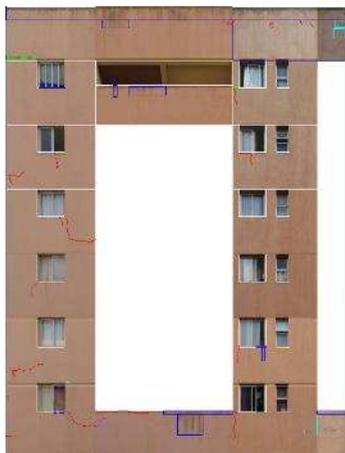
<b>Patologias</b>	<b>Estrutural</b>	<b>Estanqueidade</b>	<b>Estética</b>
De.A	2 O descolamento de parte do sistema de revestimento influencia enormemente a queda de desempenho	2 A perda da camada externa do sistema deixa as demais expostas ao recebimento de água	2 O descolamento, além de ter um forte impacto visual, pode causar um desconforto psicológico aos seus ocupantes
Fi.A	2 As tensões do revestimento se concentram nas extremidades das fissuras e provocam sua propagação prejudicando o desempenho	2 As fissuras podem servir como caminho para agentes de degradação como a água	1 As fissuras podem passar despercebidas porém quando notadas causam um forte impacto visual
Pu.A	1 Apesar da desagregação de parte do revestimento, partes destes ainda exercem alguma proteção ao sistema	2 A perda da coesão da camada superficial do revestimento deixa os poros expostos à infiltração de água	2 A pulverulência causa um forte impacto visual e desconforto aos usuários
Ef.A	0 –	1 A eflorescência é associada à falta de estanqueidade	2 A eflorescência causa um forte impacto visual
Ma.A	0 –	0 –	2 As manchas se destacam visualmente nas fachadas e passam uma estética negativa da edificação
De.P	0 –	1 A perda da camada de pintura deixa o revestimento exposto às intempéries prejudicando seu desempenho quanto à estanqueidade	2 Dependendo da cor da camada, pode causar um forte contraste com a cor da argamassa
Fi.P	0 –	1 Prejudica a camada de pintura deixando o revestimento exposto às intempéries prejudicando o desempenho do sistema	1 Esta patologia pode passar despercebida em um olhar rápido e distante à edificação porém ainda causa um desconforto quando notada
Bo.P	0 –	0 –	1 Prejuízo visual à camada de pintura

Legenda: 2 (correlação elevada ou forte); 1 (possível correlação); 0 (correlação baixa ou nula)

## ANEXO 3 – MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS DE ACORDO COM OS EDIFÍCIOS ABORDADOS

### SQN 109 – Bloco J

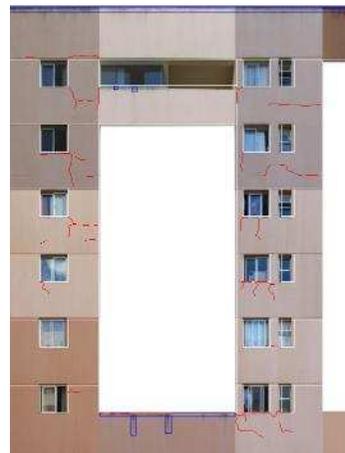
A1.PL.1



A1.PL.2



A1.PL.3



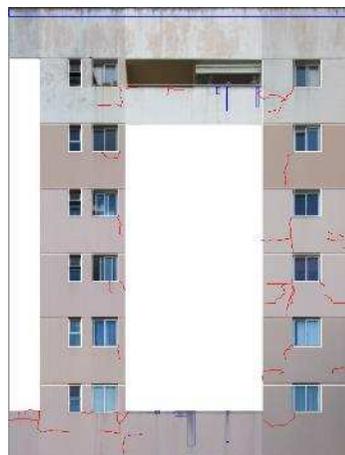
A1.PL.4



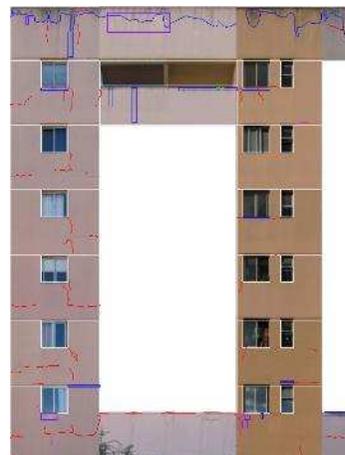
A1.PL.5



A1.PL.6



A1.PO.1

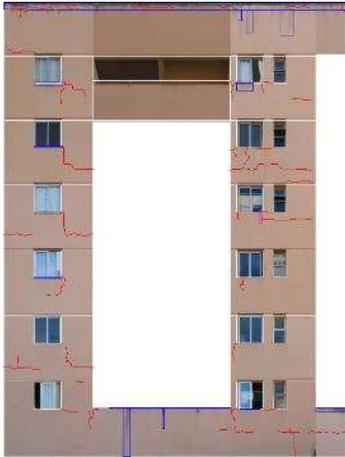


A1.PO.2

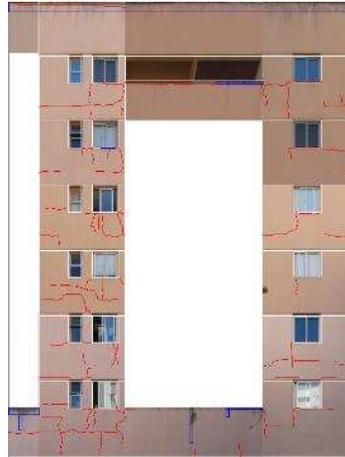


(Continuação) SQN 109 – Bloco J

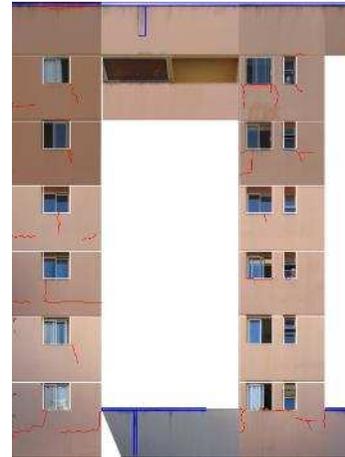
A1.PO.3



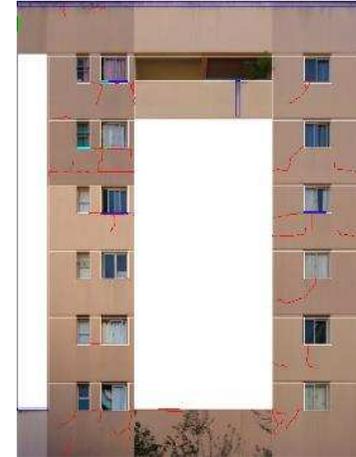
A1.PO.4



A1.PO.5



A1.PO.6



A1.ES.1



A1.EN.1



Legenda:

— De.A

— De.P

— Fi.A

— Pu.A

— Fi.P

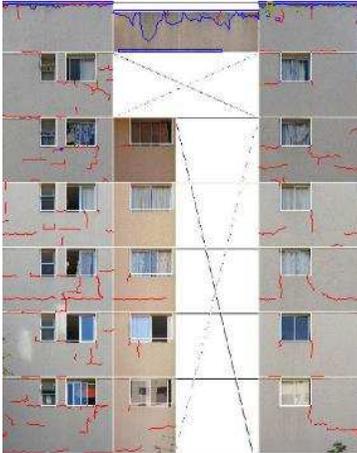
— Ef.A

— Bo.P

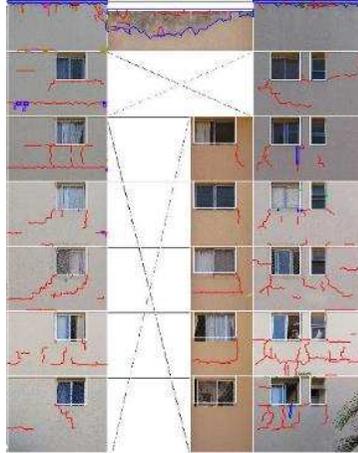
— Ma.A

SQN 109 – Bloco I

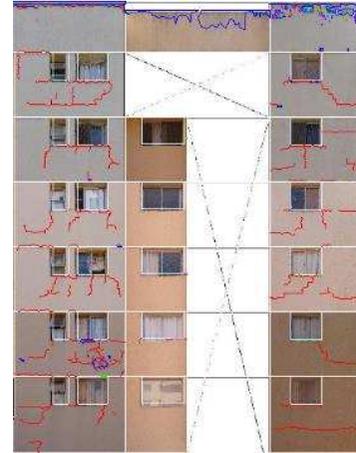
A2.PL.1



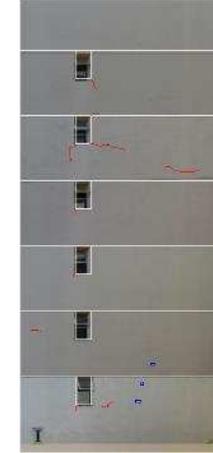
A2.PL.2



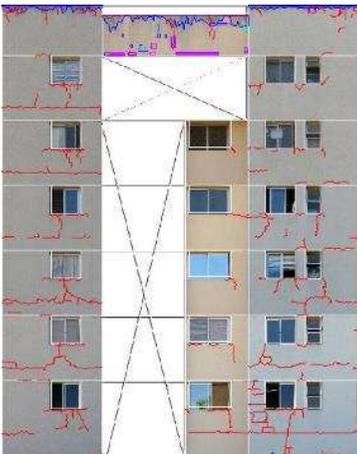
A2.PL.3



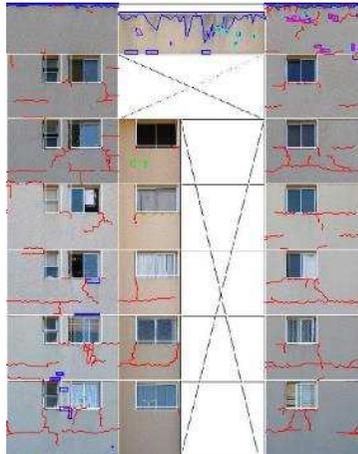
A2.ES.1



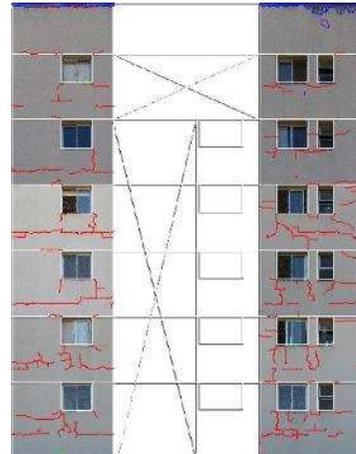
A2.PO.1



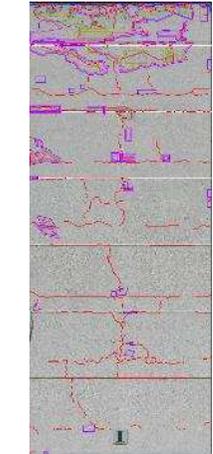
A2.PO.2



A2.PO.3



A2.EN.1



Legenda:

— De.A

— De.P

— Fi.A

— Pu.A

— Fi.P

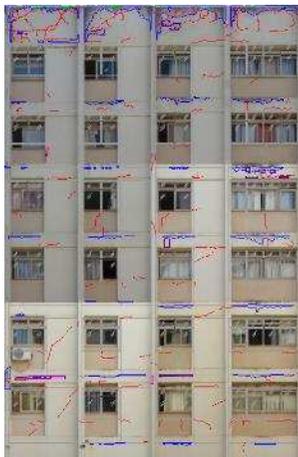
— Ef.A

— Bo.P

— Ma.A

**SQN 306 – Bloco H**

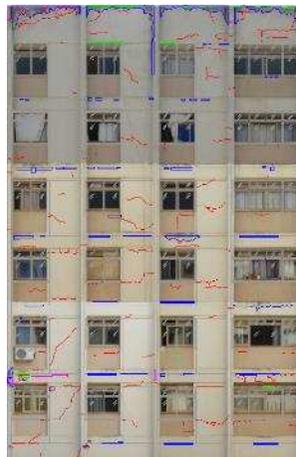
A3.PL.1



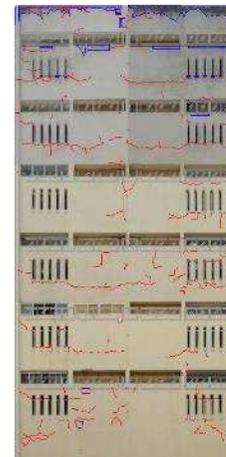
A3.PL.2



A3.PL.3



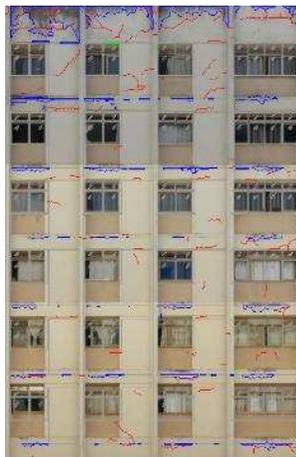
A3.PL.4



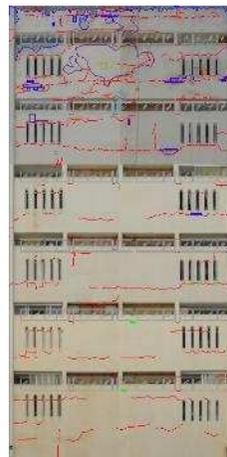
A3.PL.5



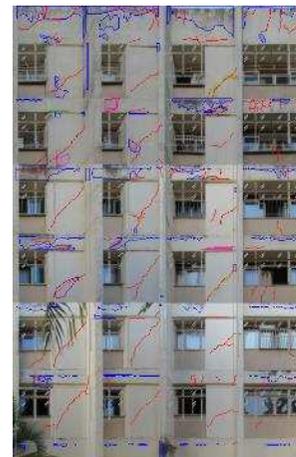
A3.PL.6



A3.PL.7

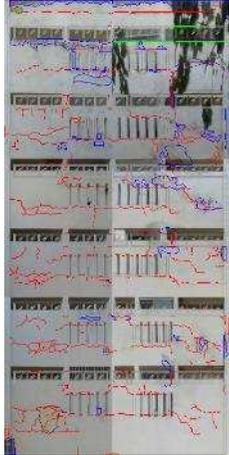


A3.PO.1

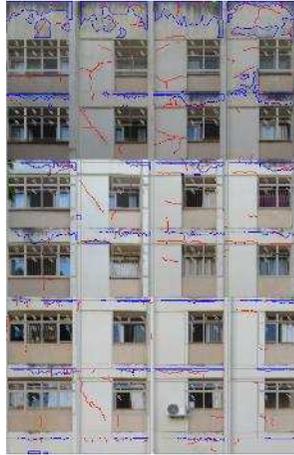


(Continuação) SQN 306 – Bloco H

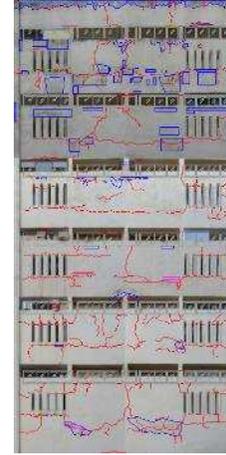
A3.PO.2



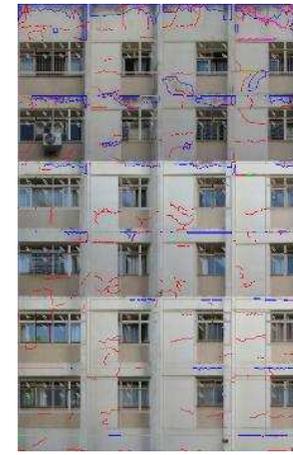
A3.PO.3



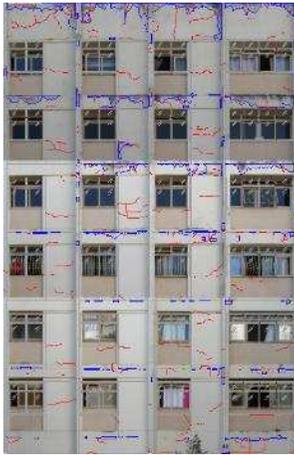
A3.PO.4



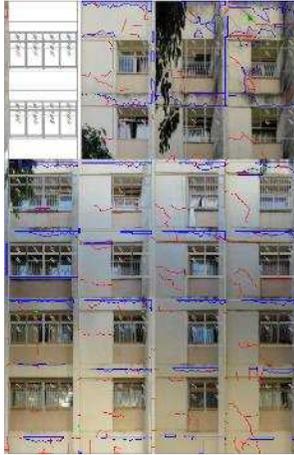
A3.PO.5



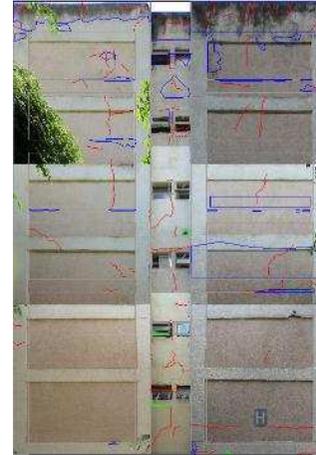
A3.PO.6



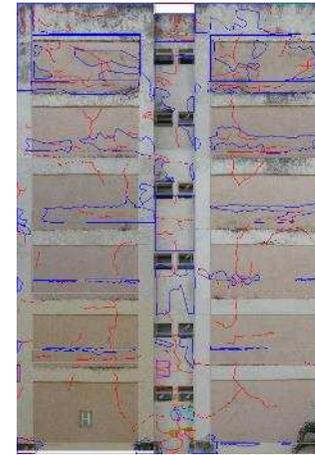
A3.PO.7



A3.ES.1



A3.EN.1



Legenda:

— De.A

— De.P

— Fi.A

— Pu.A

— Fi.P

— Ef.A

— Ma.A

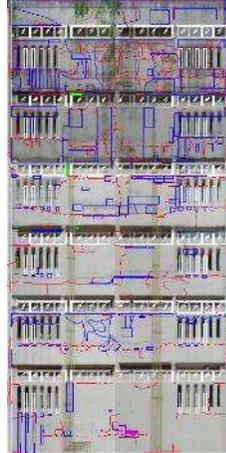
— Bo.P

SQN 306 – Bloco C

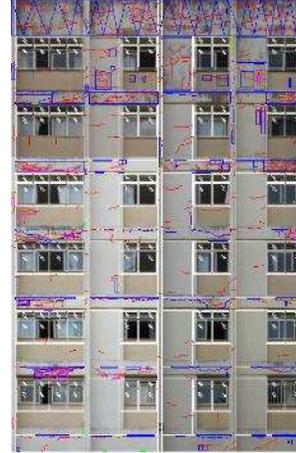
A4.PN.1



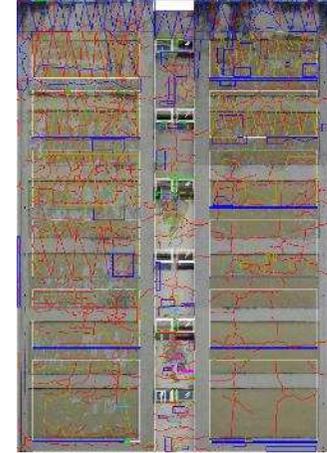
A4.PN.2



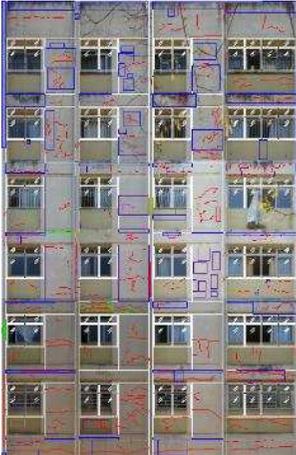
A4.PN.3



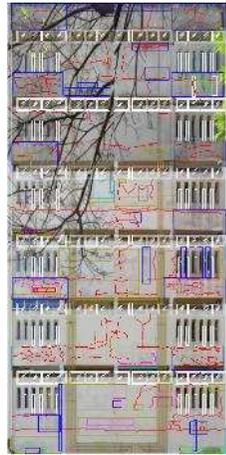
A4.EO.1



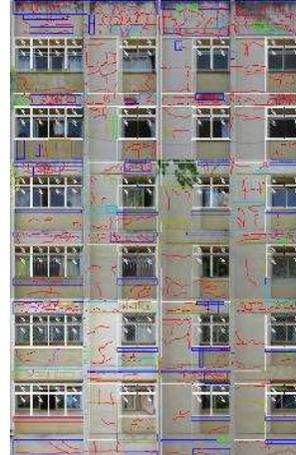
A4.PS.1



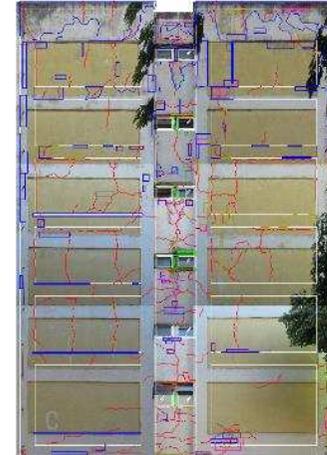
A4.PS.2



A4.PS.3



A4.EL.1



Legenda:

De.A

De.P

Fi.A

Pu.A

Fi.P

Ef.A

Ma.A

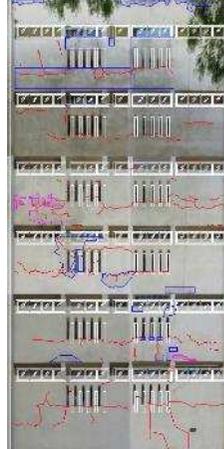
Bo.P

SQN 306 – Bloco D

A5.PL.1



A5.PL.2



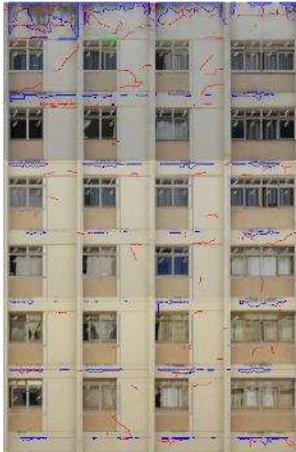
A5.PL.3



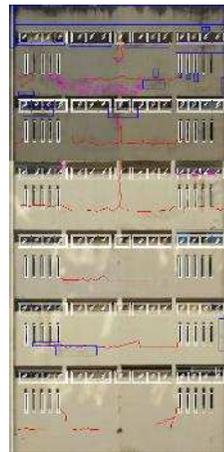
A5.ES.1



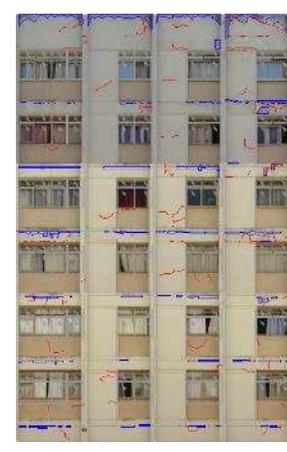
A5.PO.1



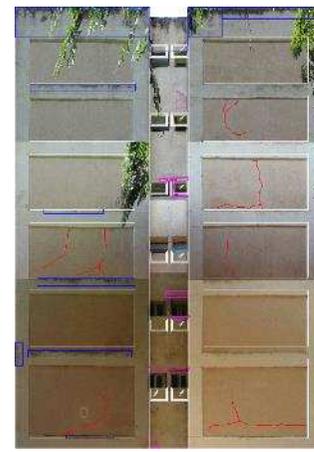
A5.PO.2



A5.PO.3



A5.EN.1



Legenda:

— De.A

— De.P

— Fi.A

— Pu.A

— Fi.P

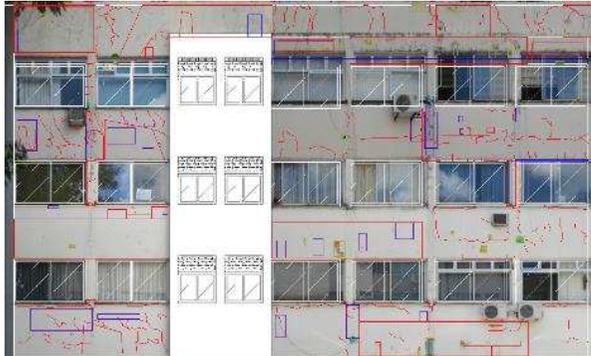
— Ef.A

— Bo.P

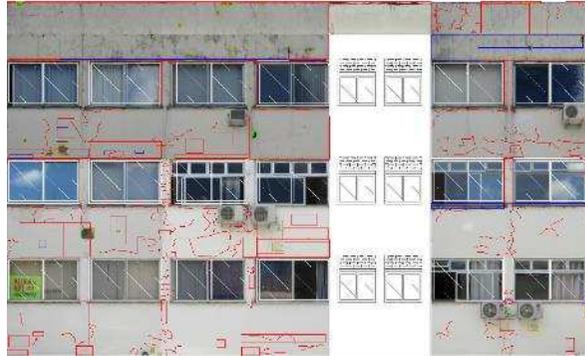
— Ma.A

SQS 404 – Bloco E

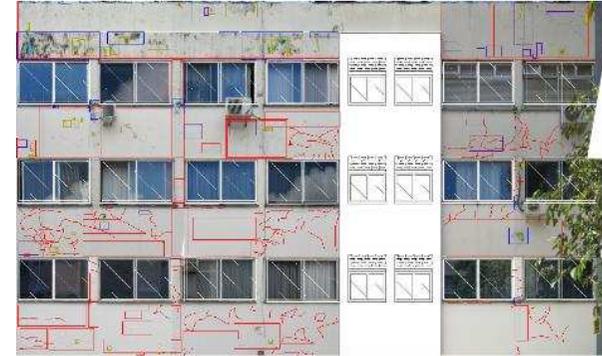
A6.PN.1



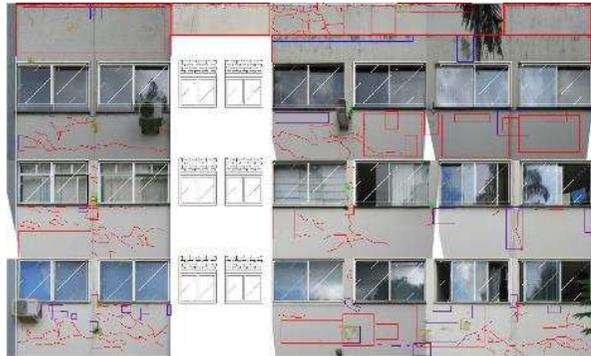
A6.PN.2



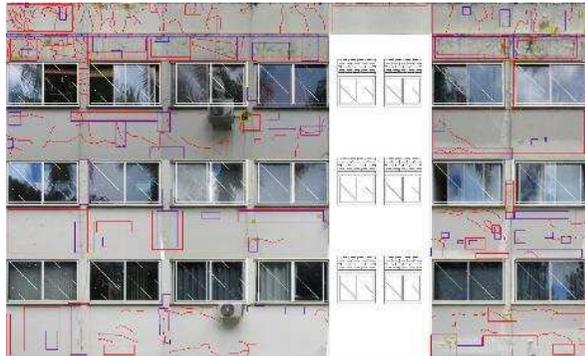
A6.PN.3



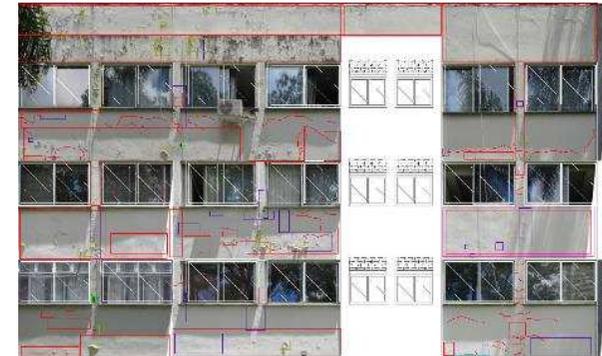
A6.PS.1



A6.PS.2



A6.PS.3



Legenda:

— De.A

— De.P

— Fi.A

— Pu.A

— Fi.P

— Ef.A

— Bo.P

— Ma.A