

**EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS  
AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS  
CONSTITUINTES**

**JÉSSICA SIQUEIRA DE SOUZA**

**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**

**EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS  
AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS  
CONSTITUINTES**

**JÉSSICA SIQUEIRA DE SOUZA**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

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

**BRASÍLIA/DF MARÇO – 2016**

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

**EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS  
AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS  
CONSTITUINTES**

**JÉSSICA SIQUEIRA DE SOUZA**

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

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Elton Bauer, Dr. (PECC – UnB)**  
(Orientador)

---

**Prof. Michele Tereza M. Carvalho, Dr. (PECC – UnB)**  
(Examinador Interno)

---

**Prof. Geilma Lima Vieira, Dr. (UFES)**  
(Examinador Externo)

**BRASÍLIA/DF, 30 DE MARÇO DE 2016.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

SOUZA, JÉSSICA SIQUEIRA DE

Evolução da degradação de fachadas - Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. [Distrito Federal] 2016.

xvii, 114p, 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2016).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Durabilidade

2. Vida útil

3. Degradação de fachadas

4. Desempenho

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SOUZA, J. S. (2016). Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 07A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTORA: Jéssica Siqueira de Souza

TÍTULO: Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

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.

---

Jéssica Siqueira de Souza

SHA 04 Conj. 04 Chac. 26, Arniqueira – Águas Claras.

CEP 71994-165 Brasília/DF, Brasil.

E-mail: jss.siqueira@gmail.com

*Dedico este trabalho aos meus pais, Ariovaldo e Márcia, pelo apoio incondicional.*

***“Tudo posso naquele que me fortalece.”***

(Filipenses 4.13).

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me proporcionar a vida e estar sempre me guiando para o melhor caminho.

Aos meus pais, Ariovaldo e Márcia, pelo carinho e confiança, por estarem sempre me apoiando e orientando. Às minhas irmãs, Andressa e Rayanne, e meu cunhado, Bruno André, que muitas vezes me deram suporte. Ao meu namorado, Thalles Morais, pelo apoio, confiança, paciência e incentivo.

Ao meu orientador, Professor Elton Bauer, por dedicar seu tempo e me auxiliar sempre que precisei. Reconheço também a excelente orientação prestada, por meio de críticas, elogios e disposição em todos os momentos.

À Professora Vanda Zanoni e à Professora Maria de Nazaré Silva, que sempre me incentivaram e não hesitaram em compartilhar o conhecimento e esclarecimentos de aspectos relacionados ao tema.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília, em especial a Paulo Francinete, Marcus Vinícius, Carlos Mariano, João Uchôa, Nelson Afanador, Maria Cláudia Salomão, Pablo Borges e Matheus Leoni, companheiros que se tornaram amigos.

À Universidade de Brasília 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.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro durante a elaboração da dissertação.

À todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com a realização desta dissertação.

## **RESUMO**

### **EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS - EFEITO DOS AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES**

**Autora: Jéssica Siqueira de Souza**

**Orientador: Elton Bauer**

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

**Brasília, Março de 2016**

Em consequência das exigências dos usuários, a norma ABNT NBR 15575-1: 2013 estabeleceu níveis de desempenho mínimos a serem cumpridos pelas edificações. Dentre os requisitos estabelecidos, destaca-se a durabilidade, que tem sua importância relacionada à crescente necessidade do prolongamento do tempo em serviço, aumentando a vida útil, e da diminuição e otimização dos custos relacionados à manutenção. Ao longo dos anos, a mensuração de degradação tem assumido um papel cada vez mais preponderante no estudo de previsão de vida útil, pois através da quantificação de danos é possível correlacionar os principais parâmetros e fatores intervenientes no processo de degradação das fachadas. As diversas metodologias de previsão de vida útil existentes são vistas como ferramentas auxiliares na determinação da necessidade de manutenção e nos atendimentos aos requisitos estabelecidos. A presente dissertação tem objetivo estudar e mensurar a degradação das fachadas a partir da obtenção das curvas de degradação por meio de estudo de mapeamento das anomalias. A metodologia adotada permite verificar o comportamento da extensão da degradação em função da idade, bem como intensidade das anomalias em diferentes regiões das fachadas (paredes contínuas, aberturas, sacadas, cantos e extremidades, transição entre pavimentos e topo). Os resultados mostraram a influência da idade, orientação cardinal e dos elementos de arquitetura das fachadas. Com os resultados obtidos, foi possível estabelecer critérios quanto à gravidade de degradação em que a fachada se encontra, bem como comprovar que o indicador de degradação  $FGD_B$  se mostra adequado para mensuração da degradação em fachadas de edifícios residenciais. Ressalta-se que esta metodologia não é subjetiva, pois os critérios são baseados em levantamentos quantitativos efetuados em inspeções de campo. Como principal conclusão evidencia-se que pela aplicação da metodologia desenvolvida foi possível mensurar a degradação e estudar sua evolução em função do tempo e a influência dos principais agentes de degradação das fachadas.

**Palavras-Chave:** Durabilidade, Vida Útil, Degradação de fachadas, Desempenho.

## **ABSTRACT**

### **EVOLUTION OF FACADE DEGRADATION - EFFECT OF DEGRADATION AGENTS AND ELEMENTS CONSTITUENTS**

**Author : Jéssica Siqueira de Souza**

**Supervisor: Elton Bauer**

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

**Brasília, March 2016**

Due to user demand, the ABNT NBR15575-1: 2013 have established the minimum levels of performance for buildings. Among the established requirements, durability stands out, that show relevance due to the growing need to extend service time, raising the service life, decreasing and optimizing the costs related to maintenance. Throughout the years, degradation mensuration has become more preponderant in studies predicting service life, because through damage quantification is possible to correlate the main parameters and intervenient factors in facade degradation process. There are several service life predicting methodologies used as auxiliary tools in determining of maintenance need and implement of the established requirements. The present assay objectives to study and measure facade degradation as from obtaining degradation curves analyzing anomalies maps. The methodology used allows verifying the extension of degradation behavior due to age and the intensity of anomalies in different facade areas (continuous walls, openings, balconies, corners and borders, transition between floors and tops). The results show influence of age, cardinal orientation and architecture elements in facades. With these results, it was possible to establish criteria for the degradation severity of the facade at the time, and also testify that the degradation indicator  $FGD_B$  is adequate for degradation measurement in residential buildings. It is brought to attention that this methodology is not subjective because the criteria is based on this study data. As main conclusion it is clear that the application of this methodology was possible to measure the degradation and study its evolution as a function of time and the influence of the main agents of degradation of the facades.

**Key-Words:** Durability, Service Life, Facade Degradation, Performance.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS DA PESQUISA	4
1.1.1	Objetivo Geral	4
1.1.2	Objetivos Específicos	4
<b>2</b>	<b>DEGRADAÇÃO, DESEMPENHO E VIDA ÚTIL</b>	<b>5</b>
2.1	EVOLUÇÃO DO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS	7
2.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE VIDA ÚTIL	8
2.3	O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO	16
2.3.1	AGENTES DE DEGRADAÇÃO	24
2.4	AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL	27
2.5	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL	29
2.5.1	Métodos determinísticos	31
2.5.2	Métodos probabilísticos	32
2.5.3	Métodos de engenharia	33
2.6	INDICADOR DE DEGRADAÇÃO DE REFERÊNCIA	33
2.7	DISTRIBUIÇÃO DE DANOS EM FACHADAS	37
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
3.1	AMOSTRAS DE ESTUDO	41
3.2	MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO (MMD)	44
3.3	FATOR DE DANOS (FD)	47
3.4	FATOR GERAL DE DANOS (FGD)	51
3.4.1	FGD <sub>A</sub> – Fator Geral de Danos adaptado para o banco de dados	51
3.4.2	FGD <sub>B</sub> – Fator Geral de Danos adaptado para as regiões	54
3.5	ESTUDO PILOTO	55
3.6	ANÁLISE DE DADOS	58
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS</b>	<b>59</b>
4.1	ANÁLISE DO FATOR DE DANOS (FD)	59
4.1.1	Comportamento da degradação ao longo do tempo	59

4.1.2	Comportamento da degradação para diferentes orientações cardeais.....	70
4.1.3	Influência dos elementos de arquitetura no processo de degradação.....	81
4.1.4	Comportamento da distribuição da degradação em regiões da fachada.....	88
4.2	ANALISE DO FATOR GERAL DE DANOS (FGD).....	94
4.2.1	Fator Geral de Danos – A (FGD <sub>A</sub> ) .....	95
4.2.2	Fator Geral de Danos (FGD) .....	99
4.2.3	Fator Geral de Danos – B (FGD <sub>B</sub> ).....	101
4.3	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO GLOBAL DE DEGRADAÇÃO 103	
5	CONCLUSÕES .....	109
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	110
	REFERÊNCIAS .....	112
	ANEXO I.....	1
	ANEXO II.....	1

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema (ABNT NBR 15575-4, 2002) .....	11
Figura 2.2 – Degradação esquemática de diferentes grupos de propriedades (adaptada de MOSER, 1999). .....	15
Figura 2.3 — Relação entre estado de degradação e operação de manutenção em fachadas (adaptado de Flores-Colen e Brito, 2010). .....	16
Figura 2.4 – Distribuição da perda de desempenho ao longo do tempo (Flores-Colen, 2009, adaptado de Hermans, 1995; Trinius & Sjostrom, 2005). .....	17
Figura 2.5 – Curva de degradação apresentada por Sousa (2008). .....	20
Figura 2.6 – Curvas de degradação apresentada por Gaspar (2009). .....	21
Figura 2.7 – Curva de degradação obtida por Silva (2009). .....	22
Figura 2.8 – Evolução do nível geral de degradação para fachadas revestidas por placas cerâmicas. (Galbusera, 2013). .....	22
Figura 2.9 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Fator Geral de Danos (SILVA, 2014). .....	23
Figura 2.10 – Relação entre diferentes tipos de métodos de previsão de vida útil (Adaptado de Hovde, 2004). .....	31
Figura 2.11 – Curvas de evolução de degradação em função da orientação para Fator Geral de Danos (SILVA, 2014). .....	37
Figura 3.1– Esquema da sequência de procedimentos metodológicos adotados .....	40
Figura 3.2 – Exemplo de amostra de fachada. ....	42
Figura 3.3 – Distribuição das amostras inspecionadas por idade. ....	42
Figura 3.4 – Esquema ilustrativo do critério de sobreposição da malha .....	45
Figura 3.5 – Esquema ilustrativo da divisão dos andares e das regiões da fachada. ....	46
Figura 3.6 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas (Silva, 2014). ....	48
Figura 3.7 – Relação dos resultados dos indicadores de degradação. ....	57
Figura 4.1 – Curva de degradação do Fator de Dano – Total em função da idade, considerando todas as anomalias estudadas (DC, FI, FR, EF e FV). ....	60
Figura 4.2 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 184 amostras que compõem o universo de estudo. ....	61

Figura 4.3 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 83 amostras com idades inferiores a 15 anos. ....	64
Figura 4.4 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 44 amostras com idades entre 15 e 25 anos. ....	65
Figura 4.5 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 57 amostras com idades superiores 25 anos. ....	66
Figura 4.6 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do $FD_{Total}$ em função da faixa de idade. ....	68
Figura 4.7 – Distribuição de danos em função das faixas de idade. ....	69
Figura 4.8 – Curva de degradação do $FD_{Total}$ em função da orientação cardinal. ....	71
Figura 4.9 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 54 amostras de orientação Norte. ....	74
Figura 4.10 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 51 amostras de orientação Sul. ....	75
Figura 4.11 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 41 amostras de orientação Leste. ....	76
Figura 4.12 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 38 amostras de orientação Oeste. ....	77
Figura 4.13 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do $FD_{Total}$ em função da orientação cardinal. ....	78
Figura 4.14 – Distribuição de danos em função das orientações. ....	79
Figura 4.15 – Curva de degradação do $FD_{Total}$ em função do elemento de arquitetura. ....	81
Figura 4.16 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 128 amostras referente às fachadas. ....	83
Figura 4.17 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 38 amostras referente às Empenas. ....	84
Figura 4.18 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do $FD_{Total}$ das 18 amostras referente às Caixas de Escada. ....	85
Figura 4.19 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do $FD_{Total}$ em função do elemento de arquitetura. ....	86
Figura 4.20 – Distribuição de danos em função dos elementos de arquitetura. ....	87
Figura 4.21 – Tendência da distribuição de danos. ....	88
Figura 4.22 – Exemplo do comportamento da distribuição dos valores de $FD_{RC}$ . ....	89
Figura 4.23 – Valor característico (80%) de $FD_{RC}$ de todas as amostras para cada região. ....	91

Figura 4.24 – Valor característico (80%) de $FD_{RC}$ das faixas de idade para cada região. ..	92
Figura 4.25 – Valor característico (80%) de $FD_{RC}$ das orientações para cada região .....	93
Figura 4.26 – Valor característico (80%) de $FD_{RC}$ do elementos de arquitetura para cada região da fachada. ....	94
Figura 4.27 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo ( $FGD_A$ x Idade).....	97
Figura 4.28 – Comportamento da degradação para os diferentes elementos de arquitetura ao longo do tempo ( $FGD_A$ x Idade).....	99
Figura 4.29 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo ( $FGD$ x Idade).....	100
Figura 4.30 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo ( $FGD_B$ x Idade).....	101
Figura 4.31 – Comparação do comportamento dos indicadores de degradação ao longo do tempo .....	106
Figura 4.32 – Exemplo de obtenção do valor de referencia do indicador de degradação.	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Vida útil de projeto (VUP)* (adaptado da Tabela C.5 e C.6, ABNT NBR 15575-1:2013). .....	10
Tabela 2.2 – Descrição do conjunto de normas da ISO 15686.....	13
Tabela 2.3 – Tipos de curvas de degradação. ....	19
Tabela 2.4 – Coeficientes de correlação de curvas de degradação obtidas em estudos. ....	23
Tabela 2.5 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011). .....	25
Tabela 2.6 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011). .....	25
Tabela 2.7 – Critério de níveis de condição (kn) utilizados por Silva (2014).....	36
Tabela 2.8 – Constantes de ponderação da importância relativa das anomalias (Silva, 2014).....	36
Tabela 3.1 – Relação das quantidades de amostras .....	43
Tabela 3.2 – Critério de níveis de condição ( $k_n$ ) utilizados para o $FGD_A$ .....	53
Tabela 3.3 – Valores de $k_r$ para cada região. ....	54
Tabela 3.4 – Descrição do nível de condição das anomalias e do percentual de área de degradada das regiões das simulações.....	56
Tabela 4.1 – Dados estatísticos básicos dos valores de $FD_{Total}$ de todas as amostras e das amostras subdivididas em faixas de idade.....	63
Tabela 4.2 – Resultados da ANOVA em função da faixa de idade.....	67
Tabela 4.3 – Resultados do Teste de Duncan para faixas de idade. ....	69
Tabela 4.4 – Dados estatísticos básicos de $FD_{Total}$ das amostras em geral e das respectivas orientações.....	72
Tabela 4.5 – Resultados da ANOVA em função da orientação cardinal.....	78
Tabela 4.6 – Resultados do Teste de Duncan para orientações cardiais.....	79
Tabela 4.7 – Dados estatísticos básicos dos valores de $FD_{Total}$ de todas as amostras e dos elementos de arquitetura.....	82
Tabela 4.8 – Resultados da ANOVA em função do elemento de arquitetura. ....	85
Tabela 4.9 – Resultados do Teste de Duncan para os elementos de arquitetura. ....	86
Tabela 4.10 – Dados estatísticos dos valores de $FD_{RC}$ de todas as amostras. ....	90
Tabela 4.11 – Critérios adotados na transição dos níveis de condição de cada anomalia... ..	96
Tabela 4.12 – Valores característicos de $FD - Total$ para os grupos de análises.....	104

Tabela 4.13 – Valores característicos (80% de $FD_{RC}$ ) das regiões.....	105
Tabela 4.14 – Valores de referência dos indicadores de degradação. ....	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Aberturas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE	Cantos e Extremidades
DC	Descolamento Cerâmico
EF	Eflorêscência
FD	Fator de Danos
FGD	Fator Geral de Danos
FI	Fissura
FQ	Ficha de Quantificação
FR	Falha de Rejunte
FV	Falha de Vedação
ISO	International Organization for Standardization
LEM	Laboratório de Ensaios de Materiais
MMD	Método de Mensuração de Degradação
NBR	Norma Brasileira Registrada no INMETRO
PC	Paredes Contínuas
SC	Sacadas
TO	Topo
TP	Transição entre Pavimentos
UnB	Universidade de Brasília

# 1 INTRODUÇÃO

É frequente a utilização de sistemas de revestimento cerâmico em fachadas, pois possuem vantagens relacionadas à maior durabilidade, resistência química e facilidade de limpeza. Apesar de todas essas vantagens, as fachadas revestidas por placas cerâmicas possuem sensibilidade à qualidade de execução, pois são incorporados diferentes materiais que auxiliam a fixação das placas cerâmicas na fachada. Estes materiais apresentam diferentes propriedades físicas e químicas e, quando expostos as ações dos agentes de degradação, podem ocorrer falhas no sistema, surgindo então anomalias nas fachadas.

Dentre os sistemas constituintes de uma edificação, a fachada é um dos elementos mais sensíveis à degradação, em virtude da exposição aos agentes de degradação. Mesmo com a crescente evolução tecnológica adotadas nas construções, frequentemente ocorrem anomalias nas fachadas de edifícios. Os revestimentos utilizados nas fachadas dos edifícios, além de aumentar a valorização estética, possuem importante função de proteção do edifício, à vista disso é muito importante a realização de manutenção das fachadas. (GASPAR, 2009; SILVA *et al.*, 2016).

A necessidade da realização de estudos quanto ao surgimento e evolução dos danos advém das diferentes repostas de comportamento dos materiais componentes do sistema de vedação externo. Apesar dos danos serem identificados na superfície da fachada, estes podem ocorrer devido a vários fatores, os quais estão associados às características inerentes a cada elemento do edifício, tais como características do material, a qualidade do projeto, qualidade de construção e nível de manutenção, e às condições ambientais que podem atuar como agentes de degradação (GASPAR; BRITO, 2005(a), 2005(b); SILVA, 2014).

A ocorrência de danos nas fachadas interfere no seu desempenho, comprometendo as suas funções básicas, tais como, estanqueidade da vedação, isolamento térmico e acústico e também a valorização estética e econômica do edifício (ANTUNES, 2010; BORDALO *et al.*, 2010; ROSCOE, 2008; SILVESTRE, 2005; SOUSA, 2008).

A importância do estudo sobre durabilidade para revestimentos em fachadas se deve à crescente necessidade do prolongamento dos tempos em serviços, aumentando a vida útil, e à diminuição e otimização dos custos relacionados à manutenção (SOUSA, 2008).

Tanto nos edifícios mais antigos como nos novos edifícios, há uma elevada incidência de anomalias nas fachadas. Isto reflete na necessidade de novas ferramentas metodológicas que auxiliem na compreensão da origem, dos mecanismos e dos efeitos das anomalias (BAUER *et al.*, 2012; BAUER; CASTRO, 2013; SILVA *et al.*, 2014). A compreensão do comportamento e das principais causas das anomalias motiva a realização de diagnósticos cada vez mais sistematizados, assim garantindo a qualidade e funcionalidade da fachada exigida pelo usuário (ANTUNES, 2010). O surgimento de anomalias não está relacionado a uma única causa, pois há diversos fatores que influenciam no surgimento de um dano (SILVESTRE, 2005; UCHÔA, 2007). A complexidade da relação entre o dano e a causa do dano dificulta o processo de diagnóstico de vida útil da fachada, tornando o diagnóstico impreciso. A observação sistemática dos danos e do sistema de fachada auxilia na elaboração de um diagnóstico mais eficaz, uma vez que esta observação permite compreender melhor os mecanismos de degradação e estabelece hipóteses de causa e efeito das anomalias. (SILVESTRE, 2005).

Visando contribuir para edificações com desempenho aceitável vários estudos e pesquisas foram realizadas permitindo maior entendimento do comportamento dos edifícios quando submetidos às condições de exposição à degradação. O aprimoramento de ferramentas sistemáticas e práticas aplicadas às regiões de fachada atuam de forma a validar e consolidar as metodologias de avaliação de vida útil. (ANTUNES, 2010; FLORES-COLEN, 2009; GASPAR, 2009; SILVA, 2014; SOUSA, 2008; TAGUCHI, 2010).

Neste sentido, a elaboração desta dissertação justifica-se pela necessidade da consolidação das técnicas e procedimentos metodológicos que auxiliam no estudo da vida útil de fachadas. De forma a colaborar com a prevenção de danos e falhas, a partir da elaboração de projetos, visto que estes funcionam como ferramentas de retroalimentação, esta dissertação apresenta um estudo das regiões da fachada identificando as mais suscetíveis à degradação..

Atualmente, diversos pesquisadores em Portugal e no Brasil vêm realizando pesquisas com a finalidade de delinear curvas de tendência de degradação que represente o comportamento da degradação ao longo do tempo. Em Portugal utilizam-se como referência os estudos de Gaspar (2009), Ana Silva (2009) e Galbusera (2013). E no Brasil, Antunes (2010) e Silva (2014) são pesquisadores que abordam a importância deste estudo para a obtenção de subsídios que possam direcionar a prevenção de anomalias e na indicação da necessidade de manutenção.

A presente dissertação visa aprimorar a metodologia sistemática e prática desenvolvida por Silva (2014), por meio de um maior grupo amostral, em termos de quantidade de amostras, e pela adequação dos critérios dos níveis de condição das anomalias. Desta forma, busca-se um indicador de degradação que resultará em uma maior acurácia da curva de degradação das fachadas de edifícios. Ressalta-se ainda que a grande contribuição deste trabalho deve-se a nova abordagem da ponderação da região, que evidencia uma ordem prioritária de ocorrência do fenômeno de degradação, ou seja, aponta as regiões mais críticas das fachadas.

Esta dissertação dá continuidade à linha de pesquisa referente à “Patologia, Manutenção e Recuperação de estruturas e edificações”, do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), particularmente no tema “Degradação de fachadas das edificações”. Destacam-se algumas contribuições em pesquisas nessa linha:

- Silva (2006), com o estudo de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa;
- Antunes (2010), com o estudo de identificação e sistematização da incidência das manifestações patológicas em sistema de revestimento de fachadas de Brasília;
- Costa (2014), com o estudo de identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica.

- Silva (2014): com o estudo de avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada aplicados à edifícios de Brasília/DF.

## **1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta dissertação é estudar e mensurar a degradação das fachadas a partir das curvas de degradação obtidas pelo estudo de mapeamento das anomalias. Desta forma, é possível associar as principais relações com a vida útil, bem como com os agentes de degradação climáticos e os elementos constituintes da fachada.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Têm-se como objetivos específicos do presente trabalho:

- Sistematizar e classificar as diferentes etapas que compõem a inspeção e o mapeamento de danos, consolidando o banco de dados e desenvolvendo um método para a quantificação da degradação.
- Estudar da distribuição dos Fatores de Danos das amostras e das regiões que caracterizam o comportamento de cada amostra.
- Consolidar a mensuração da degradação pelos Fatores de Danos e indicadores de degradação ( $FGD_A$  e  $FGD_B$ ) propondo novas formas de classificação e obtenção das respectivas curvas de degradação.
- Estudar a influência da idade, da orientação e do elemento de arquitetura no processo de degradação, bem como apresentar as regiões mais críticas das fachadas, com base no Fator de Danos (FD) e nos indicadores de degradação.

## **2 DEGRADAÇÃO, DESEMPENHO E VIDA ÚTIL**

Todos os edifícios sofrem alterações e mudanças ao longo do tempo, devido às necessidades e expectativas dos usuários, modificando os ambientes, restaurando o uso dos ambientes, ou simplesmente pelo envelhecimento natural da edificação. Desde o início do processo de envelhecimento da edificação, que ocorre a partir do momento em que estas são colocadas em serviço, é necessário que os usuários e proprietários atuem no sentido de manter o desempenho especificado ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-4).

O processo de envelhecimento natural das edificações é traduzido em níveis crescentes de degradação e decrescentes de desempenho. A degradação é resultante de um processo natural de envelhecimento das fachadas, excluindo-se os casos cuja degradação seja resultado de acidentes ou ações humanas (GASPAR; BRITO, 2010).

Muitas vezes, erros que ocorrem durante as diversas etapas do processo de produção de edifícios, como planejamento, projeto, especificação, materiais, execução e utilização (operação e manutenção), acarretam a sua degradação. Por exemplo, no que diz respeito à fase de projeto, quando não são devidamente dimensionadas e localizadas as juntas, em função das ações atuantes, estas podem provocar diversas anomalias que afetam diretamente a durabilidade desta fachada (COSTA, 2014; SILVESTRE; FLORES-COLEN; BRITO, 2005).

A envoltória do edifício, composta essencialmente pelas fachadas e cobertura, está mais exposta às condições adversas. Além da função de proteção da edificação, principalmente em relação aos agentes climáticos, ainda possuem funções como estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas, capacidade de suporte a esforços de uso, compartimentação em casos de incêndio, entre outras (ABNT NBR 15575-4, 2013). Para que cumpram suas funções, as fachadas devem conservar as suas características por pelo menos durante um determinado período, de modo que atenda às necessidades e expectativas dos usuários.

Alguns edifícios, em função de suas características construtivas, ou apresentam baixa qualidade ou apresentam faixas de desempenho muito críticas. Nestes casos, a queda intensa de desempenho leva a situações muito precoces de degradação. Porém, observa-se

que não é somente nesse segmento que existem usuários submetidos às condições críticas de desempenho. Muitas vezes, existem situações em que os edifícios são usados parcialmente ou com grandes falhas, devido à utilização incorreta ou até mesmo por desconhecer o funcionamento correto de seus elementos.

As fachadas são alguns dos elementos mais expostos às condições adversas (principalmente climatológicas), possuindo funções importantes de proteção do edifício e seus elementos e da própria estrutura. Por isso, é muito importante a realização de manutenção para conservar as suas características e propriedades durante o período de vida útil, de modo a respeitar os níveis mínimos de desempenho. A interface das fachadas com os demais componentes, elementos e sistemas da edificação, como caixilhos, esquadrias, estruturas, coberturas, pisos e instalações, provocam a necessidade de uma abordagem conjunta do desempenho dos elementos e sistemas que interagem entre si (JERNBERG *et al.*, 2004; FLORES; BRITO, 2002).

O desempenho das fachadas é estabelecido por meio de requisitos qualitativos e critérios quantitativos. A perda gradual do desempenho pode estar associada ao processo de degradação. As anomalias presentes nas fachadas são, muitas vezes, resultados do não atendimento dos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para que cumpram suas funções, bem como também podem ser resultantes dos processos de degradação (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Todo elemento sofre um processo de degradação no decorrer do tempo, porém existem alguns esforços, de natureza mecânica, química, física, biológica ou das ações das intempéries, que podem acelerar no processo de degradação da fachada. O desempenho e solicitações atuantes entre cada camada do sistema de fachadas está vinculado ao comportamento diferenciado destas, e este comportamento pode prejudicar ou melhorar a aderência do revestimento ao substrato (BAUER; CASTRO, 2013; PINHEIRO, 2013).

O estudo das anomalias de edifícios é, sem dúvida, de grande utilidade para a ciência e a prática da construção. Um dos principais benefícios deste estudo é revelar padrões e tendência de degradação a partir da investigação das anomalias nas edificações, assim fornecendo orientação para prevenir, bem como para reparar as anomalias (HOVDE, 2004).

Dentro deste contexto, busca-se tratar assuntos que servem de embasamento para a compreensão da evolução da degradação ao longo do tempo nas fachadas. Desta forma este capítulo discorre assuntos relacionados à degradação, desempenho, durabilidade e vida útil das fachadas.

## **2.1 EVOLUÇÃO DO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS**

De forma a atender aos requisitos dos usuários, a norma brasileira ABNT NBR 15575-1: 2013 estabelece requisitos e critérios, independentemente dos materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado, para os sistemas que compõem as edificações habitacionais. O desempenho é estabelecido por meio de requisitos qualitativos, critérios quantitativos e métodos de avaliação. Dentre os requisitos do usuário listados pela ABNT NBR 15575-1: 2013, como segurança, habitabilidade e sustentabilidade, destaca-se à sustentabilidade que tem relação com a degradação, e são expressos pela durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

A melhora da qualidade, manutenibilidade e durabilidade das edificações ao longo de sua vida útil implicam na determinação de níveis de mínimos de desempenho. Para que o desempenho mínimo esperado seja atendido é necessário que a edificação cumpra as funções para a qual foi projetada, que os usuários realizem manutenções regulares e também satisfaça às necessidades de seus usuários (ABNT NBR 15575-1, 2013; FLORES-COLEN, 2009; KLIMPEL; SANTOS, 2010). Porém, é importante esclarecer que mesmo quando as exigências de desempenho são atendidas, as edificações não estão isentas ao surgimento de anomalias, pois as exigências de desempenho não contemplam as características particulares de cada sistema, como por exemplo, as ações dos agentes climáticos sobre as fachadas de revestimentos cerâmicos.

Os conceitos de desempenho aplicados ao longo do processo de construção são de interesse em todo o mundo, pois esta abordagem é essencial para a qualidade e economia dos edifícios e também para a competitividade das indústrias da construção civil (HOVDE, 2004).

De acordo com a definição apresentada pela ABNT NBR 15575-1:2013, desempenho das edificações é o comportamento em uso de um edifício habitacional e dos sistemas que o compõe. Isso implica que as exigências dos usuários e as necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia para os diferentes sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado, devem ser atendidas pelos elementos e sistemas do edifício.

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema construtivo e para isto é realizado uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas, sendo necessário o domínio de ampla base de conhecimento científico sobre cada aspecto funcional, sobre os materiais e técnicas de construção do sistema construtivo avaliado.

Os requisitos de desempenho previstos na ABNT NBR 15575-1: 2013 devem ser verificados aplicando-se os respectivos métodos de avaliação explicitado na mesma. Considera-se que a realização de ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios de campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos são métodos de avaliação do desempenho.

A ABNT NBR 15575-1: 2013 é utilizada como um procedimento de avaliação de desempenho de sistemas construtivos, o que se torna aplicável ao presente estudo, pois este trata-se da avaliação de fachadas de edifícios habitacionais. A importância desta avaliação se deve a aplicação do conhecimento dos elementos da fachada, servindo de base ao planejamento das ações de manutenção, de maneira a prevenir sérios riscos que podem ser causados pela insuficiência física das fachadas. Ressalta-se ainda que a eficiência da avaliação do desempenho depende do contexto em que o edifício exerce sua função e da origem e natureza dos agentes que poderão influenciar no desempenho, como por exemplo, clima, frequência de utilização e cuidados de manutenção. Destaca-se que a os requisitos apresentados pela ABNT NBR 15575-1: 2013 tem como foco o desempenho do edifício habitacional e seus sistemas quanto ao seu comportamento e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

## **2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE VIDA ÚTIL**

O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado vida útil.

A norma ABNT NBR 15575-1: 2013 e a ISO 15686-1: 2011 definem vida útil como o período de tempo após a instalação, durante o qual todas as condições de um edifício ou parte dele atendem ou excedem os requisitos de desempenho. A relatividade do valor de vida útil está associada à variação dos requisitos mínimos de desempenho considerados, pois os critérios de desempenho se modificam conforme os padrões de conforto da época, do contexto social, do uso que lhe é atribuído, do enquadramento normativo e ainda de quem os executa (SANTOS, 2010).

A definição de vida útil, para as edificações, é aplicada aos sistemas que as compõem, pois os constituintes do edifício possui vida útil inferior à do edifício em si. Por isso, devem ser realizadas manutenções periódicas nos sistemas e componentes, assim atendendo o período de vida útil do edifício. É importante que os componentes sejam especificados considerando as facilidades de manutenção, os custos, o grau de importância que cada componente exerce dentro do sistema, bem como os inúmeros fatores de degradação (CONSOLI, 2006; FLORES, 2002; SILVA, 2009). O conceito de vida útil está estreitamente ligado ao conceito de durabilidade, pois a edificação se encontra no seu período de vida útil enquanto for capaz de desempenhar suas funções dentro dos limites aceitáveis de custos de manutenção e de gestão (HELENE 1997).

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. A vida útil é uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes. A estimativa do valor de vida útil depende de fatores como correto uso e operação do edifício e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local e mudanças no entorno ao longo do tempo, conforme exposto pela ABNT NBR 15575-1: 2013. O valor final atingido de vida útil é uma composição do valor teórico calculado como vida útil de projeto (VUP) influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos, de controle do usuário, e externos (naturais), fora do controle do usuário (ABNT NBR 15575-1: 2013).

A metodologia prevista na ABNT NBR 15575-1: 2013 a ABNT NBR 15575-6: 2013 para a determinação da VUP mínima incluem três conceitos essenciais:

- i. Efeito acarretado por uma falha no desempenho do sistema;
- ii. Nível de dificuldade de manutenção e reparação;
- iii. Custo de correção da falha.

As fachadas devem ser projetadas de forma que estas tenham uma durabilidade potencial compatível com a vida útil de projeto (VUP), que equivale ao período mínimo de 40 anos para sistemas de vedação vertical externa ou, se tratando de revestimento de fachada aderido equivale ao período mínimo de 20 anos, conforme se observa na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Vida útil de projeto (VUP)\* (adaptado da Tabela C.5 e C.6, ABNT NBR 15575-1:2013).

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

\*Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma ABNT NBR 14037.

Em função das condições socioeconômicas existentes e de modo a compatibilizar para as diversas tipologias de edificação, foi adotado nas ABNT NBR 15575-1: 2013 a ABNT NBR 15575-6: 2013, o prazo inferior (mínimo) e para edificações com melhor padrão construtivo recomenda-se o período de vida útil superior.

O edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil sem sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação. Destaca-se que a norma ABNT NBR 15575-1: 2013 considera o requisito de vida útil de projeto (VUP) atendido quando o sistema não apresenta histórico de necessidade de intervenções

significativas após decorridos 50% do prazo de VUP determinado. Assim, na verdade, a vida útil especificada pode ser 50% inferior ao estabelecido.

A vida útil é prolongada através de ações de manutenção e pode ser representada pela relação entre desempenho e o tempo em vida de edifícios. São ilustrados, na Figura 2.1, os três níveis de desempenho exigidos pela ABNT NBR 15575-4: 2002, resultando em diferentes definições de vida útil.

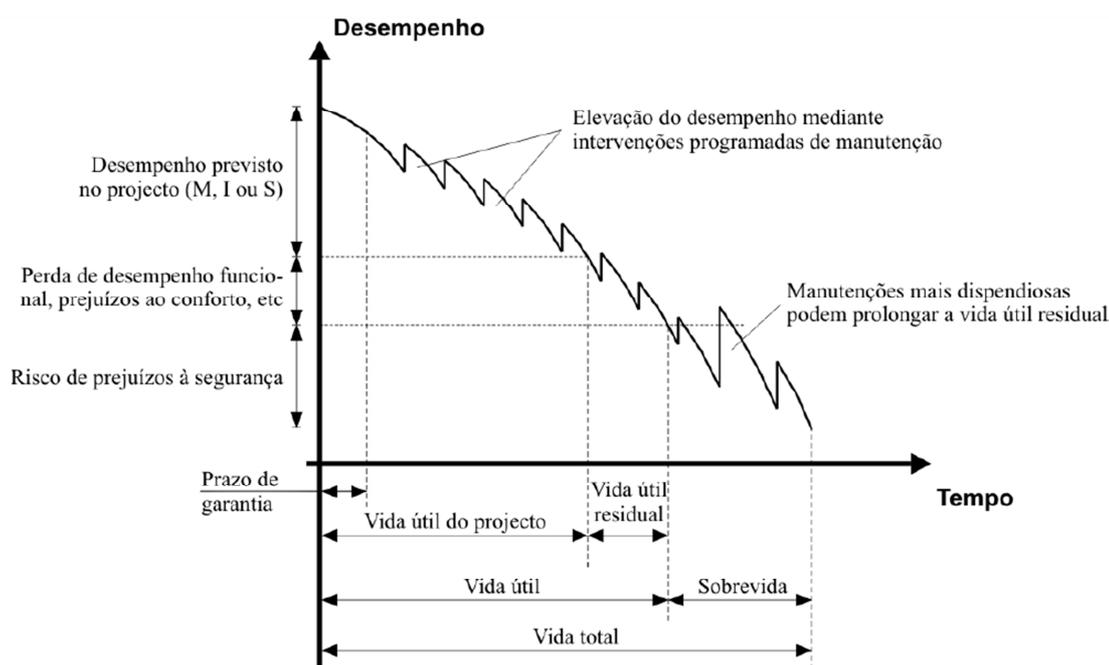


Figura 2.1 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema (ABNT NBR 15575-4, 2002)

Os níveis de desempenho M, I ou S (nível mínimo, intermédio e superior) estão representados na Figura 2.1, onde os níveis mínimos M devem ser obrigatoriamente atendidos e os níveis I e S dependem da agregação da qualidade dos produtos com diferentes relações custo/benefício. Os três níveis de desempenho estão associados a perda de desempenho prevista no projeto, a aspectos funcionais e aos riscos de segurança.

As ações de manutenção devem ser estabelecidas para garantir o atendimento da vida útil e devem ser realizadas pelo usuário. Cita-se o exemplo apresentado na norma ABNT NBR 15575-1, (2013): um revestimento de fachada em argamassa pintado pode ser projetado para uma VU de 25 anos, desde que a pintura seja refeita a cada 5 anos, no máximo. Caso

o usuário não realize a manutenção prevista, a vida útil do sistema pode ser comprometida e permitir o surgimento de eventuais patologias, as quais podem ser resultantes de uso inadequado.

Segundo a ABNT NBR 5674: 1999, além de serem responsáveis pelo programa de manutenção, os usuários devem obedecer as instruções do manual de uso, operação e manutenção, bem como as recomendações técnicas das inspeções prediais. A inspeção predial configura-se como ferramenta útil para avaliação das condições de conservação das edificações em geral, para atestar se os procedimentos de manutenção adotados são suficientes e existentes, além de fornecer subsídios para orientar o plano e programas de manutenção.

A manutenção dos edifícios pode ser classificada em manutenção preventiva (que inclui as ações periódicas de manutenção), manutenção preditiva (referente à realização de inspeções periódicas para a avaliação do estado de degradação e desempenho dos sistemas) e manutenção reativa (corresponde à manutenção realizada após a vida útil do sistemas, de maneira a recuperar o sistema abalado) (FLORES-COLEN, 2009).

A vida útil residual é o período após a vida útil de projeto em que o produto apresenta um decréscimo de desempenho em função do uso e envelhecimento natural, afetando as questões funcionais, mas ainda mantendo as condições de segurança através de ações de manutenção mais dispendiosas. A sobrevida representa o período de tempo em que os níveis de segurança começam a ser gravemente afetados. O limite da vida útil também pode ser estimado pela degradação, a qual é medida e avaliada em cada inspeção realizada de modo programado e após ações de manutenção que são evidenciadas como linhas verticais da Figura 2.1.

A avaliação do atendimento à VUP pode ser realizada pela utilização da metodologia proposta pela ISO 15686-2: 2012 que aborda, de forma sistemática, a metodologia de previsão de vida útil dos componentes de edifícios incluindo a identificação das informações necessárias, a seleção ou o desenvolvimento de procedimentos de teste (programas de exposição e métodos de avaliação), análise, interpretação de dados, e forma de apresentação dos resultados. Esta metodologia emprega um processo de pesquisa ou de

tomada de decisão interativo que permite fazer previsões mais acuradas à medida que aumenta o conhecimento do componente em estudo.

Atualmente, o conjunto de normas ISO 15686 (*Building and construction assets - service life planning*) constitui uma das fontes mais respeitadas e consultadas por parte dos intervenientes da construção, responsáveis pela sua durabilidade, e é referência fundamental em inúmeros documentos sobre vida útil (GASPAR, 2009; SANTOS, 2010; SILVA, 2009). O conjunto de norma ISO 15686 é composta pelas partes descritas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Descrição do conjunto de normas da ISO 15686.

Título	Descrição
ISO 15686-1: <i>General principles and framework</i> 2011	Identifica e estabelece os princípios e procedimentos que se aplicam ao projeto, no planeamento da vida útil das edificações já construídas;
ISO 15686-2: <i>Service life prediction procedures</i> 2012	Descrevem os procedimentos, baseados no desempenho técnico e funcional, que facilitam a previsão da vida útil dos componentes do edifício. Proporciona uma estrutura de princípios e requisitos;
ISO 15686-3: <i>Performance audits and reviews</i> 2002	Descreve a abordagem e os procedimentos a aplicar nas diversas fases da vida útil de uma obra, para garantir uma efetiva gestão da vida útil;

**Tabela 2.2 – Descrição do conjunto de normas da ISO 15686 (continuação).**

	Título	Descrição
ISO 15686-5: 2008	<i>Life-cycle costing</i>	Guia pra obtenção dos custos globais associados à vida útil das construções;
ISO 15686-6: 2004	<i>Procedures for considering environmental impacts</i>	Apresenta indicações para a determinação do impacto ambiental de diferentes soluções de projeto e a elaboração da relação entre avaliação do impacto ambiental e o planejamento da vida útil;
ISO 15686-7: 2006	<i>Performance evaluation for feedback of service life data from practice</i>	Guia para obtenção de informação relativa ao desempenho durante a vida útil de edifícios construídos;
ISO 15686-8: 2008	<i>Reference service life and service-life estimation</i>	Descreve a metodologia de estimativa da vida útil, aplicando o método fatorial;
ISO 15686-9: 2008	<i>Guidance on assessment of service-life data</i>	Fornece indicações relativas à harmonização de produtos da construção;
ISO 15686-10: 2010	<i>When to assess functional performance</i>	Especifica requisitos para verificar o desempenho funcional dos edifícios (e instalações relacionadas) durante a vida útil;
ISO/DTR2 15686-11: 2014	<i>Terminology</i>	

Torna-se bastante complexo o estudo de previsão de vida útil aplicado às edificações habitacionais, pois o edifício é composto por diversos componentes, cada qual com requisitos particulares, assim sendo os requisitos de desempenho não são previstos como um valor único, por isso é determinado e avaliado a vida útil de cada um dos componente. A norma ISO 15686-2: 2012 descreve uma ferramenta para alcançar a vida de útil de

referência do componente (*reference service life of the component* - RSLC) mais exata possível ou, alternativamente, para conseguir uma previsão de vida útil direta.

A análise de vida útil é realizada visando estabelecer e explicar as funções de desempenho sobre tempo. Moser (1999) expressa graficamente (Figura 2.2) a evolução da perda de desempenho associada a diferentes funções de determinado elemento, através da comparação entre os critérios que influenciam a vida útil das edificações (a degradação estética, a perda de funcionalidade e a diminuição dos níveis de segurança) e a indicação dos níveis mínimos de exigência para cada um destes aspectos.

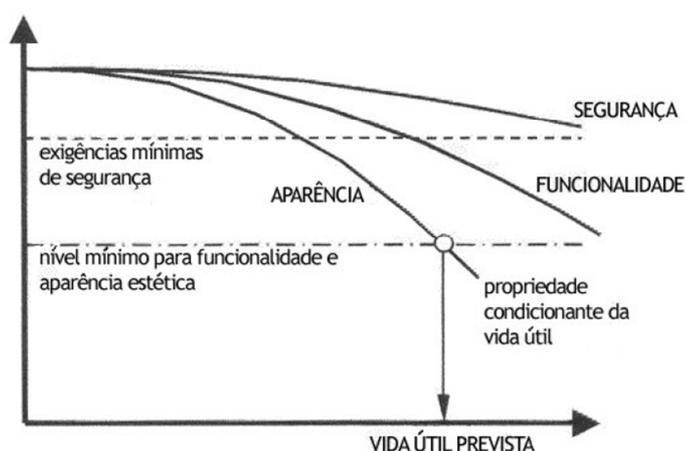


Figura 2.2

Figura 2.2 – Degradação esquemática de diferentes grupos de propriedades (adaptada de MOSER, 1999).

O primeiro grupo de propriedades, segurança, são as mais relevantes, que são comumente definidos utilizando um fator de segurança adequado. O segundo grupo são as propriedades funcionais, que são necessárias para cumprir as funções previstas, como impedir a entrada de vento, chuva, calor ou permitir ventilação, entrada de claridade, dentre outros. O terceiro grupo pode ser identificado como propriedades estéticas. Este grupo, associados às fachadas dos edifícios, podem comprometer a imagem da paisagem urbana, conforme afirmado por Moser (1999).

As operações de manutenção, que envolvem limpeza, reparos, substituições, proteção e inspeções, atuam para prolongar o tempo de vida da edificação, conforme ilustrado na Figura 2.3.

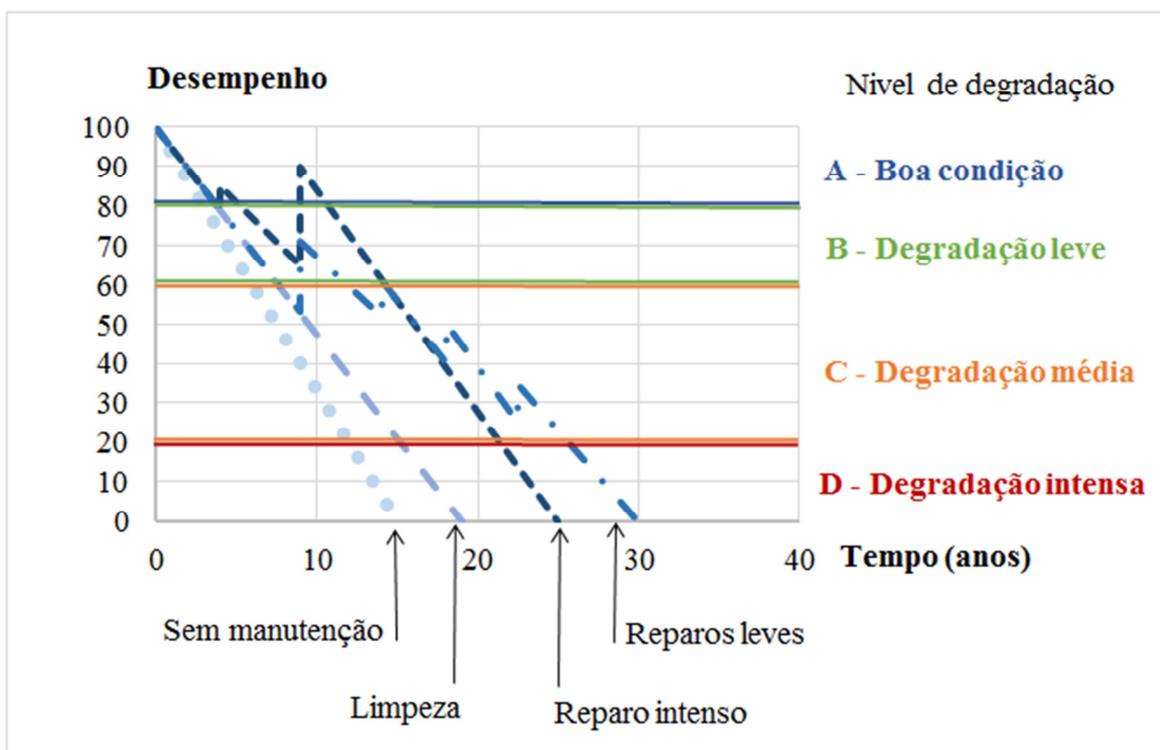


Figura 2.3 — Relação entre estado de degradação e operação de manutenção em fachadas (adaptado de Flores-Colen e Brito, 2010).

Na interpretação da Figura 2.3, observa-se que a evolução da degradação é afetada pelas operações de manutenção. Nota-se também que quando não é realizada nenhuma ação de manutenção, o tempo de vida da edificação é menor. Quando o estado de degradação do sistema é menor que o nível mínimo de desempenho, possivelmente o sistema se tornará inútil por não atender o mínimo esperado. Ou seja, o nível de desempenho é aumentado, quando a manutenção é realizada, mas o aumento depende do tipo de manutenção (FLORES-COLEN; BRITO, 2010). Destaca-se que os pequenos reparos atuam de forma pontual sobre o estado de degradação (nível de desempenho) de forma a prolongar a vida da edificação. Desta forma, pode-se afirmar que ações de manutenção, preditivas e preventivas, quando adequadamente realizadas podem ampliar a vida útil.

### 2.3 O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

As características de desempenho são quantidades físicas que medem as propriedades críticas identificadas para o componente (ISO 15686-1: 2011).

Conforme Flores-Colen *apud* Hermans (1995), o desempenho em serviço pode variar acima ou abaixo do valor esperado (requisito de desempenho – RD), observado na Figura

2.4. A alteração no desempenho em serviço é caracterizada pelo grau de degradação ( $\alpha$ ), que representa as perdas das características que são críticas para o desempenho). Destaca-se que esta é uma tendência hipotética, uma vez que a degradação do edifício ou dos elementos que o compõe pode não ocorrer de forma como foi previsto.

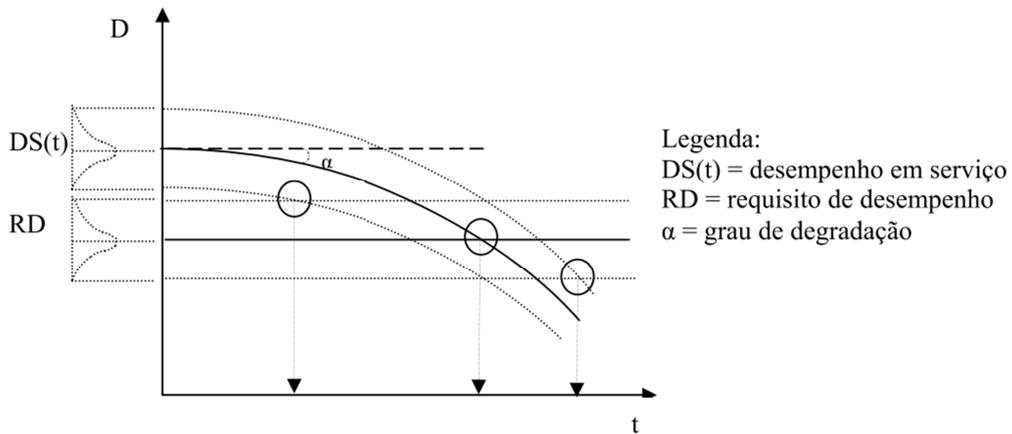


Figura 2.4 – Distribuição da perda de desempenho ao longo do tempo (Flores-Colen, 2009, adaptado de Hermans, 1995; Trinius & Sjostrom, 2005).

Assim, pode se afirmar que a degradação encontra-se intimamente relacionada com a perda de desempenho em serviço. Embora a relação destas não seja uma relação linear, pois dependem de diversos fatores, a análise do desempenho em serviço recorre, com maior frequência, a modelos de degradação em vez de modelos de desempenho (FLORES-COLEN, 2009). Ressalta-se que a existência de determinados graus de degradação pode ou não ter influência no desempenho global de um elemento.

A degradação dos edifícios é particular a cada um deles, ou até mesmo particular a cada fachada do edifício, pois existem inúmeras condicionantes que influenciam no processo de degradação, como, por exemplo, condicionantes de projeto, microclima, de regiões abrigadas ou desabrigadas. Estas diferentes situações tornam os edifícios diferentes, mesmo que sejam construídos em iguais condições e sejam realizados de forma idêntica (FLORES 2002; SILVA, 2009).

O processo de degradação das fachadas pode ser pensado enquanto um processo decorrente das ações externas sobre as fachadas. As ações de degradação que a fachada sofre são decorrentes de múltiplos fatores, devido à ação dos agentes de degradação. A degradação

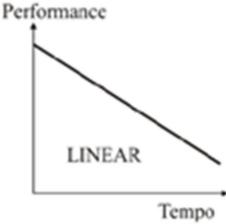
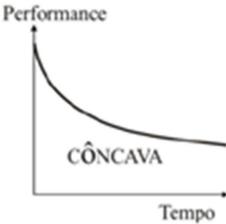
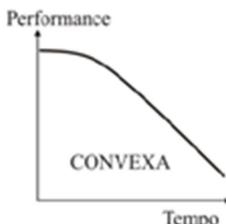
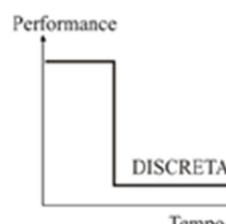
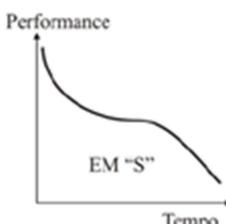
das fachadas ocorre devido à sequência de alterações que esta sofre, devido exposição aos agentes degradantes (SILVA, 2014; ZANONI, 2015).

A ISO 15686-8: 2008 define degradação como um processo pelo qual uma ou mais propriedades do material são afetadas pela ação dos agentes de degradação. Conforme a ISO 15686-2: 2012, agentes de degradação são todos aqueles que afetam negativamente o desempenho dos edifícios, ou seja, são todos aqueles que afetam de maneira desfavorável o desempenho do sistema, tais como, agentes atmosféricos, biológicos, de carga, de incompatibilidade e de uso. Ressalta-se que a ausência de projetos, concepção inadequada, insuficiência de detalhes, especificação incorreta de materiais e técnicas construtivas também afetam a durabilidade do sistema. Em uma fase inicial, a degradação pode não ser perceptível, mas quando as anomalias se tornam evidentes, inicia-se um processo de decisão complexo que concilia a necessidade de intervir com questões de custo, oportunidade e dificuldade da reparação.

A evolução progressiva da degradação pode ser representada por índices de degradação ao longo do tempo, dando origem então à curva de degradação (índice de degradação x tempo) para a determinação da vida útil. Essa representação da curva de degradação reflete a velocidade com que os sistemas perdem sua capacidade funcional, assim deixando de atender aos requisitos exigidos (GASPAR; BRITO, 2008; SHOET *et al.*, 1999; SILVA, 2014).

A Tabela 2.3 apresentam alguns modelos de curva de degradação que mostram algumas tendências que podem ser associadas ao processo de degradação, as quais podem apresentar diferentes configurações em função dos mecanismos de degradação, podendo ser obtidas a partir dos quantitativos de degradação (ANSELMO, 2012; GASPAR; BRITO, 2005(a); GASPAR, 2009; SILVA, 2009; SILVA, 2014).

Tabela 2.3 – Tipos de curvas de degradação.

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, essa evolução da degradação é desacelerada. Este comportamento em degradações pode ser observado na ação de micro-organismos que provocam manchas ou a ocorrência de eflorescências.</p>
	<p>A curva convexa apresenta um comportamento inicial lento e 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 em determinado período e no decorrer do tempo voltam a ficar ativos e passam a apresentar uma evolução acelerada em seu desenvolvimento.</p>

As diversas curvas de degradação apresentadas têm como único objetivo espelhar o desempenho ao longo do tempo. A resposta da ação de degradação é realizada em função dos agentes de degradação. A partir dos efeitos de condições de exposição e da função de desempenho do produto são obtidos os indicadores de degradação ou indicadores de perda de desempenho, os quais são definidos por meio de inspeções à medida que são identificadas as mudanças de comportamento dos materiais (GARRIDO, 2010; SOUSA 2008).

A curva de degradação (Figura 2.5) apresentada por Sousa (2008) é uma curva de tendência dos valores correspondentes ao nível de degradação dos revestimentos cerâmicos inspecionados, distribuídos de acordo com a idade de cada revestimento. O indicador de degradação foi calculado por meio do indicador numérico de gravidade denominado severidade (S), que é um índice de degradação determinado por uma relação entre a área degradada ponderada e uma área de referência.

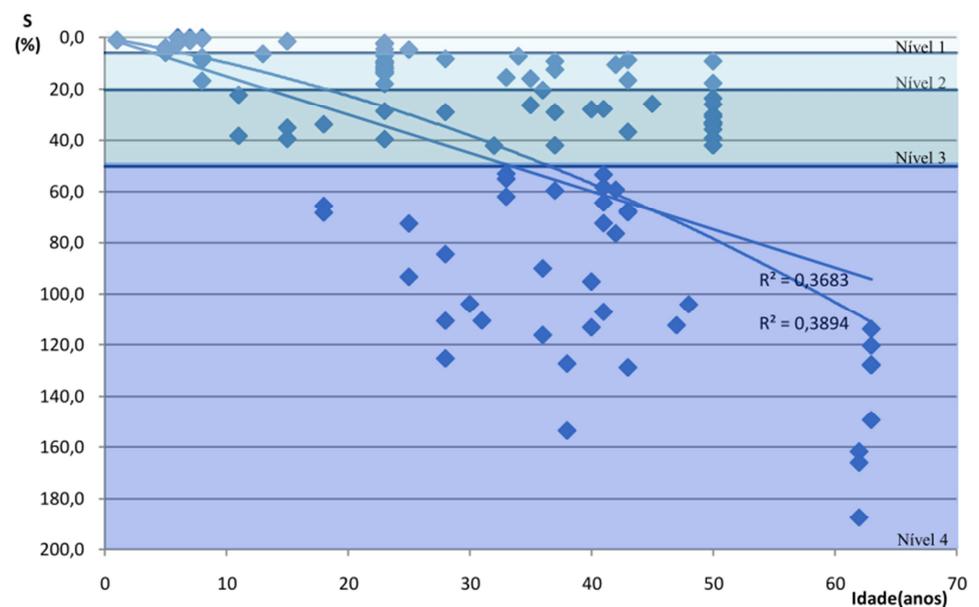


Figura 2.5 – Curva de degradação apresentada por Sousa (2008).

O indicador de degradação denominado severidade (S) tem sido replicado em outros estudos também, como Gaspar (2009), Silva (2009) e Galbusera (2013). Posteriormente, Silva (2014) realizou uma adaptação deste indicador.

Considerando apenas as curvas de regressão (Figura 2.6) obtidas por Gaspar (2009) infere-se que a curva que melhor corresponde ao padrão de degradação é a curva polinomial. Esta curva apresenta uma configuração em “S” ainda que mais discreta do que os resultados obtidos por Sousa (2008).

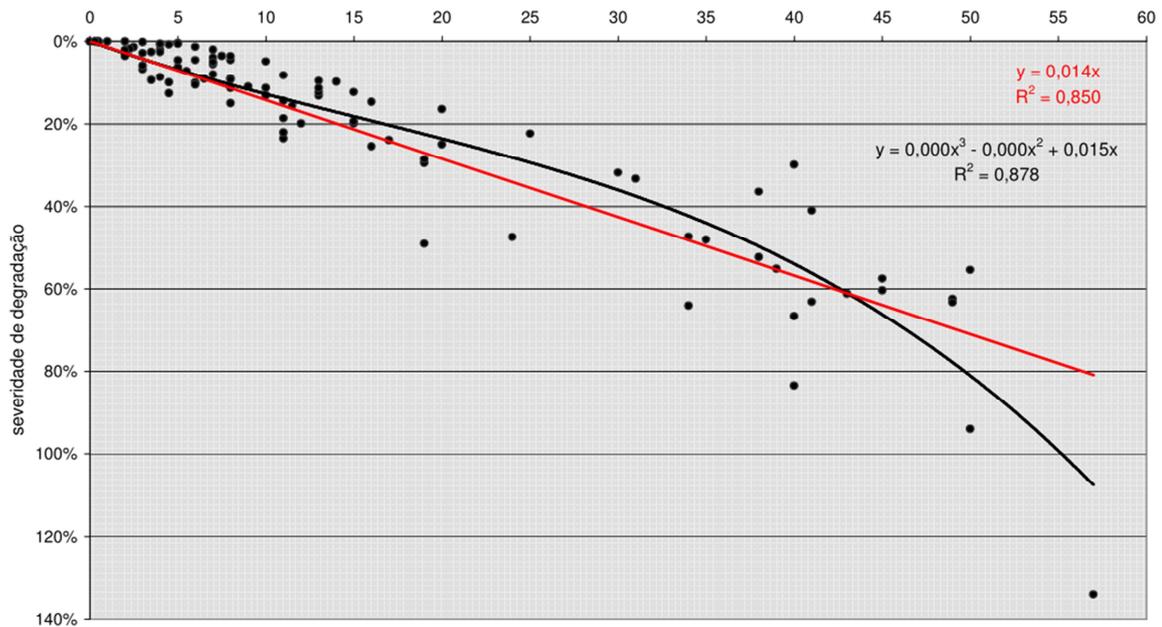


Figura 2.6 – Curvas de degradação apresentada por Gaspar (2009).

Silva (2009) apresentou o comportamento dos revestimentos pétreos ao longo do tempo através de curvas de degradação em forma de “S” (Figura 2.7), o que indica uma tendência dos revestimentos pétreos de padecerem de anomalias precoces que aparentemente estabilizam ao longo do tempo, mas sofrem uma degradação acelerada na fase terminal da sua vida. O indicador de degradação é a Severidade ( $Sw, rp$ ).

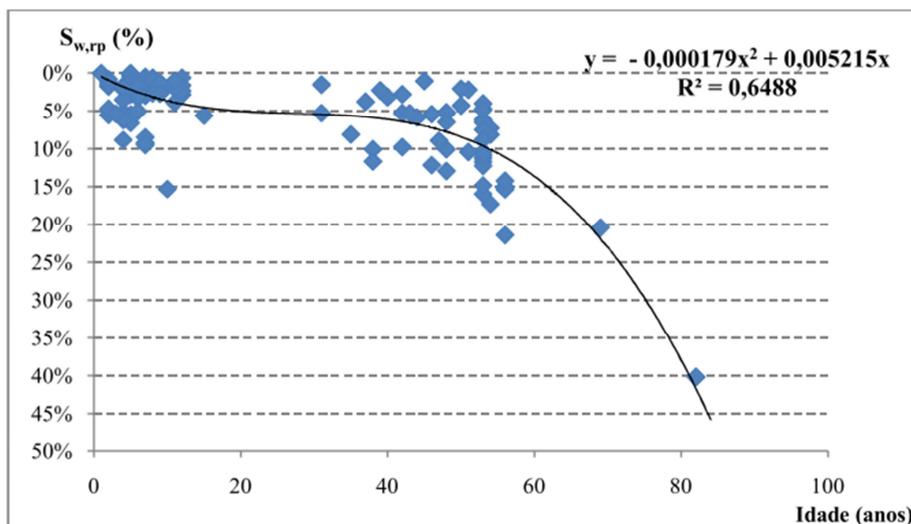


Figura 2.7 – Curva de degradação obtida por Silva (2009).

Na Figura 2.8 é ilustrado os resultados de severidade ao longo do tempo apresentado por Galbusera (2013). Ressalta-se que o autor realizou uma pré-seleção dos casos estudados para uma melhor correlação dos resultados, de maneira a aumentar o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e também o número de amostras estudadas.

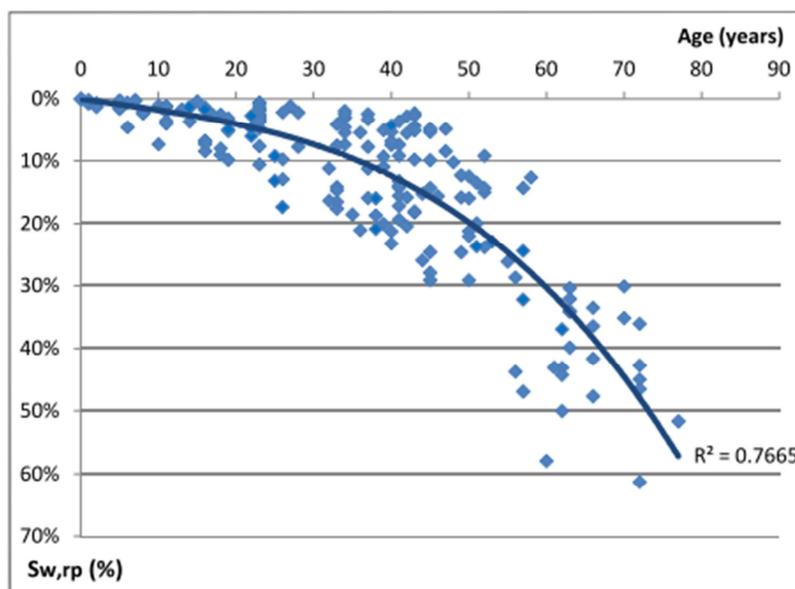


Figura 2.8 – Evolução do nível geral de degradação para fachadas revestidas por placas cerâmicas. (Galbusera, 2013).

A curva de degradação apresentada por Silva (2014), conforme pode ser observado na Figura 2.9, apresenta o indicador de degradação como Fator Geral de Danos (FGD), que é

uma adaptação do indicador de severidade (S). Este indicador foi obtido por um modelo de cálculo de degradação ponderado por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias.

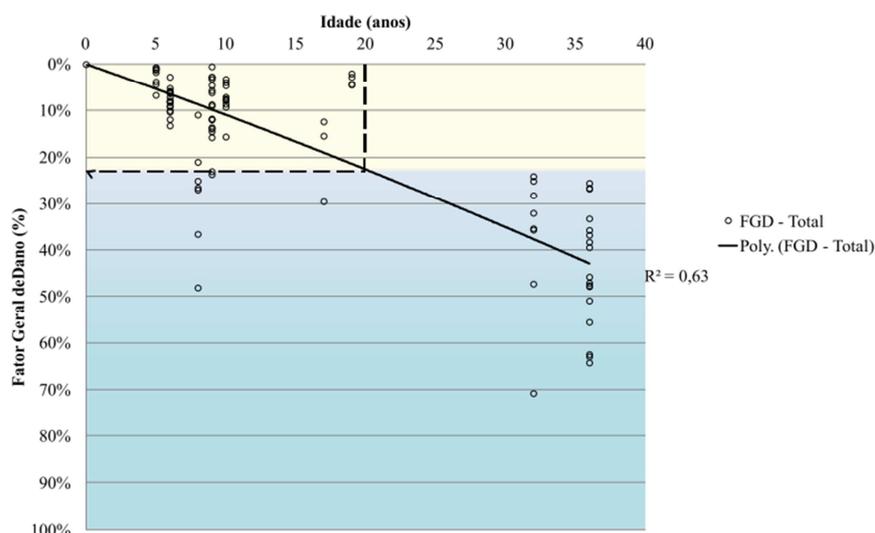


Figura 2.9 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Fator Geral de Danos (SILVA, 2014).

Diversos pesquisadores apresentaram curvas de degradação para diferentes sistemas de revestimento de fachadas (Tabela 2.4), porém, devido a particularidade da localidade dos edifícios, dos sistemas utilizados, dos cuidados de inspeção e quantificação dos danos, entre outros fatores que interferem no processo de mensuração da degradação, houve uma variação do coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Tabela 2.4 – Coeficientes de correlação de curvas de degradação obtidas em estudos.

Tipo de curva	Indicador	$R^2$ (aproximado)	Sistema de revestimento	Pesquisador
Linear	Severidade - S	0,37	Cerâmico	Sousa (2008)
Polinomial	Severidade - S	0,39	Cerâmico	Sousa (2008)
Polinomial	Severidade - Sw,c	0,41	Cerâmico	Bordalo <i>et al</i> (2010)
Polinomial	FGD	0,63	Cerâmico	Silva (2014)
Curva em "S"	Severidade - Sw,rp	0,65	Pétreos	Silva (2009)
Polinomial	Severidade - Sw,c (média)	0,74	Cerâmico	Bordalo <i>et al</i> (2010)
Linear	Severidade - Sn	0,76	Reboco	Gaspar e Brito (2008)
Polinomial	Severidade - Sw	0,76	Cerâmico	Galbusera <i>et al</i> (2014)
Polinomial	Severidade - Sw,rp	0,77	Cerâmico	Galbusera (2013)

Tabela 2.4 – Coeficientes de correlação de curvas de degradação obtidas em estudos  
(continuação)

Tipo de curva	Indicador	R <sup>2</sup> (aproximado)	Sistema de revestimento	Pesquisador
Polinomial	Severidade - Sw	0,77	Cerâmico	Galbusera <i>et al</i> (2014)
Polinomial	Severidade - Sw,rp	0,82	Pétreos	Silva <i>et al</i> (2011)
Polinomial	Severidade - Sw,rp	0,82	Pétreos	Silva <i>et al</i> (2011)
Linear	NGD	0,85	Reboco	Gaspar (2009)
Polinomial	Severidade - Sw	0,85	Etics	Ximenes (2015)
Polinomial	ODL (média)	0,86	Reboco	Gaspar e Brito (2011)
Polinomial	Severidade - S (média)	0,88	Reboco	Gaspar e Brito (2010)
Polinomial	NGD	0,88	Reboco	Gaspar (2009)
Linear	ODL	0,92	Reboco	Gaspar e Brito (2008)
Linear	ODL	0,97	Reboco	Gaspar e Brito (2008)

O maior valor de correlação (0,97) foi obtido por Gaspar e Brito (2011) em sistemas argamassados de revestimento (reboco) e o menor valor obtido (0,37) foi apresentado pelo estudo de Sousa (2008) em sistema de revestimento cerâmico.

Destacam-se os diversos tipos de curvas adotados, evidenciando a dificuldade na obtenção da melhor curva de degradação. Quando o indicador de severidade é representado pela média, o valor de R<sup>2</sup> é maior. Os valores de correlação são influenciados pelo tipo de sistema de revestimento, permitindo constatar que os revestimentos cerâmicos apresentam maior variabilidade da amostra que os demais sistemas de revestimento. A elevada variabilidade do coeficiente de correlação se deve a composição do sistema, pois cada componente apresenta respostas diferenciadas quando submetidas à ação de degradação.

### 2.3.1 AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Os agentes que atuam sobre os materiais ou componentes de uma edificação e provocam alterações nos materiais diminuindo o seu desempenho são denominados de agentes de degradação. Na Tabela 2.5 e Tabela 2.6 estão apresentados, respectivamente, os agentes de degradação dos materiais e componentes em função da natureza dos componentes (orgânicos ou inorgânicos, metálicos ou não metálicos) e da procedência dos agentes de degradação (ANTUNES, 2010; ISO 15686-1, 2011; SILVA, 2014).

Tabela 2.5 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011).

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade
	Esforços e deformações impostas ou restringidas
	Energia cinética
	Vibrações e ruídos
Agentes eletromagnéticos	Atritões
	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
Agentes biológicos	Quimicamente neutros
	Vegetais e microrganismos
	Animais

Tabela 2.6 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011).

Procedência	Classe
Provenientes da atmosfera	Água no estado líquido
	Umidade
	Temperatura
	Radiação solar – radiação ultravioleta
	Gases de oxigênio
	Ácido sulfúrico
	Gases ácidos
	Bactérias, insetos
	Vento com partículas em suspensão
Provenientes do solo	Sulfatos
	Cloretos
	Fungos
	Bactérias
Provenientes ao uso	Insetos
	Esforços de manobra
Provenientes do projeto	Agentes químicos normais em uso doméstico
	Compatibilidade química
	Compatibilidade física
	Cargas permanentes e periódicas

Os agentes são classificados de acordo com a sua natureza. Em geral, externa ao edifício, a origem dos agentes é a atmosfera ou o nível do solo, enquanto que interno ao edifício, a origem está relacionada com a ocupação ou modificações nas instalações.

Um dos fenômenos provenientes da atmosfera mais agressivos aos revestimentos de fachadas de edifícios é o mecanismo de degradação decorrente da ação da temperatura e radiação solar, que ocasionam uma variação de temperatura. A variação de temperatura provoca variações físicas e químicas nos materiais, gerando fissuras, descolamento e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade e calor, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (CONSOLI, 2006; SILVA, 2014). A degradação em fachadas é resultante da combinação de inúmeras variáveis, como: falhas dos materiais, falhas na especificação, falhas decorrentes do processo executivo, deformação higroscópica, deformação térmica, deformações estruturais, entre outros (ANTUNES, 2010; ROSCOE, 2008, SILVA 2014).

O sistema de revestimento de fachada é muito crítico devido a grande variedade de fenômenos naturais que o afetam, tais como ventos, temperatura, chuvas, radiação solar, maresia, entre outros. Um exemplo típico de agentes degradantes oriundos das condições climáticas de exposição é a chuva e vento, que quando incidem sobre a fachada, oferecem condições propícias para desenvolver anomalias. As variações térmicas, oriundas da exposição ao sol, também colaboram com a ocorrência de anomalias, pois provocam elevadas tensões entre as diferentes camadas da fachada (placas cerâmicas, rejunte, argamassa colante, emboço e substrato), assim provocando a falha do sistema (BAUER; CASTRO, 2013; PINHEIRO, 2013; SILVA, 2014).

Geralmente, as características diferenciadas das anomalias permitem deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos, além também de prever as suas prováveis consequências, pois as anomalias são evolutivas e podem provocar danos mais graves com o passar do tempo (GASPAR, 2009; SILVA 2014). Vale destacar ainda que cada fachada constituinte do edifício é exposta aos agentes de degradação de forma diferenciada, implicando então na particularidade de cada fachada.

## 2.4 AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Os sistemas do edifício devem ser adequadamente detalhados e especificados em projeto, de modo a possibilitar a avaliação da sua vida útil de projeto, conforme é determinado pela ABNT NBR 15575-1: 2013. Espera-se que as especificações dos elementos e componente empregado sejam conhecidos, de modo que permita ser avaliada a sua adequabilidade de uso em função da vida útil de projeto estabelecida para o sistema.

A ABNT NBR 15575-1: 2013 afirma ainda que a avaliação do atendimento à vida útil de projeto pode ser realizada pela utilização da metodologia proposta pelas ISO 15686-1 a 15686-3 e ISO 15686-5 a 15686-7, as quais estão descritas na Tabela 2.2. Dentro do contexto de exposição aos agentes de degradação, a ISO 15686-2: 2012 afirma que devem ser identificados e listados os agentes de degradação, possíveis mecanismos de degradação e como a degradação pode ser acelerada ou induzida.

Na previsão de vida útil é imprescindível um estudo básico dos requisitos mínimos necessários, pois estes balizam a avaliação da durabilidade, uma vez que estas quando são ultrapassadas negativamente é determinado o fim da vida útil. Ressalta-se que estes requisitos devem ser claros e de fácil entendimento, pois quando um componente é submetido a uma única ação é mais fácil de compreender um único requisito. Por exemplo, as vedações verticais internas e externas com incidência direta de água devem apresentar estanqueidade, conforme é determinado na ABNT NBR 15575-4: 2013, e ainda quando uma parede é submetida ao ensaio de estanqueidade por um período de 24 h, numa área exposta com dimensões de 34 cm x 16 cm, a quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm<sup>3</sup>.

De outra forma a avaliação pode tornar-se complexa quando se trata de um sistema, onde são inúmeros os requisitos a serem avaliados. Assim, a ISO 15686-2: 2012 recomenda que seja estabelecida, por um profissional habilitado, a forma de quantificação da intensidade de agentes biológicos, agentes provenientes da ocupação em edifícios em uso, entre outros.

Existem alguns pré-testes que permitem checar as características de desempenho selecionadas para a avaliação da exposição aos agentes de degradação. Conforme a ISO

15686-2: 2012 indica, o programa de exposição deve ser cuidadosamente concebido de forma a proporcionar os dados necessários de acordo com o objetivo do estudo.

O objetivo do programa de exposição é verificar situações em que a ação e a resposta, em termos de degradação, atingem o limite de vida útil. Os programas de exposição servem para estabelecer a curva em função do tempo para identificar relações entre períodos de exposição e condições locais, de forma a observar se as condições identificadas são representativas do meio ambiente e qual a intensidade das ações dos agentes de degradação presentes (ISO 15686-2, 2012).

Existem limitações sobre o conhecimento disponível, por isso é importante identificar mecanismos de degradação sempre que possível. Desta forma é possível reduzir a possibilidade de erros e melhorar a base para estabelecer quais os mecanismos devem ser induzidos em programas de exposição.

É descrito na norma ABNT NBR 15575-1: 2013 como o critério de durabilidade pode ser avaliado, os quais estão listados a seguir.

- a) Através da verificação do cumprimento das exigências estabelecidas em Normas Brasileiras que estejam relacionadas com a durabilidade dos sistemas do edifício;
- b) Pela comprovação da durabilidade dos elementos e componentes dos sistemas, bem como de sua correta utilização;
- c) Na inexistência de Normas Brasileiras, através do cumprimento das exigências estabelecidas em Normas estrangeiras específicas;
- d) Por análise de campo do sistema através de inspeção em protótipos e edificações;
- e) Pela análise dos resultados obtidos em estações de ensaios de durabilidade do sistema.

Paralelamente, a norma ISO 15686-2: 2012 cita quatro diferentes formas de obtenção de dados de exposição em longo prazo:

- a) Exposição em estações de envelhecimento natural;
- b) Inspeção em edifícios;
- c) Exposição em edifícios experimentais;

- d) Exposição nas condições de uso (condições normais de uso, mas com monitoramento).

Das diferentes formas de avaliação da vida útil dos componentes dos edifícios, 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 dos componentes inspecionados e a complexidade para controlar, monitorar e medir os agentes atuantes no meio ambiente são obstáculos cruciais, nas inspeções em edifícios, na avaliação da vida útil. Porém, destaca-se que uma das grandes vantagens da obtenção de dados de durabilidade pela inspeção de edifícios está na correlação direta entre o estado de componentes, o ambiente de exposição e a utilização do edifício.

Buscando estudar a vida útil a partir de curvas de degradação, Silva (2014) emprega a referência da norma ABNT NBR 15575-1: 2013, apresentada na Tabela 2.1, que estabelece uma vida útil de projeto mínima de 20 anos para os revestimentos de fachadas aderentes. Para análise da estimativa de vida útil de 90 amostras de fachadas de Brasília, ilustrado na Figura 2.9, o parâmetro inicial de 20 anos correspondente a um valor de FGD<sub>(20anos)</sub> de 22,6%, estabelecendo-se um indicativo de nível mínimo de degradação geral. A partir desta análise, quando uma fachada inspecionada apresentar FGD maior que 22,6% indica a necessidade de ações associadas à manutenção reativa, uma vez que já se ultrapassou o limite de degradação. Isso significa que o desempenho mínimo já teria sido ultrapassado (negativamente) caracterizando ter-se alcançado o final da vida útil.

## **2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL**

O grande progresso dos estudos realizados sobre durabilidade levou ao aparecimento de diversos métodos de previsão da vida útil e conseqüentemente, à concepção de documentos de normalização, tais 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*).

Como mencionado, há uma vasta abordagem sobre avaliação e discussão de métodos de previsão de vida útil nos últimos anos. Os documentos que descrevem a durabilidade e os métodos de previsão de vida útil destacam que a previsão de durabilidade e vida útil está sujeita a muitas variáveis e, por isso, não pode ser uma ciência exata (HOVDE, 2004).

Para que os resultados sejam coerentes e confiáveis, os documentos que abordam sobre os métodos de previsão da vida útil descrevem recomendações e explicações dos dados necessários à sua aplicação (GASPAR, 2009; PINHEIRO, 2013; SANTOS, 2010). Moser (2004) afirma que são necessários mais estudos para identificar os parâmetros que influenciam o ciclo de vida dos elementos do edifício, tornando-se necessário criar relações matemáticas viáveis que permitam a aplicação destes métodos. Martinez *et al.* (2012) afirmam que é necessário estudar a questão da durabilidade sob novas perspectivas, acumular mais informações e alcançar nos desenvolvimentos matemáticos para fazer melhores previsões sobre a durabilidade.

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. É muito pouco provável ter em conta todas as variáveis que afetam a durabilidade de revestimentos de fachada, deixando, sempre alguma possibilidade do fenômeno da degradação inexplicável. O fato de haver deficiências nos processos de controle de qualidade para execução das fachadas e seus elementos exemplifica o conjunto das variabilidades associadas. Como discorrer sobre o comportamento em uso e a degradação do elemento, se não há informações para saber se o projetado foi adequadamente executado?

Silva *et al.* (2016) realizaram uma análise comparativa e avaliou a capacidade de alguns métodos existentes, de maneira a verificar se estes métodos correspondem à condição da degradação das fachadas. Os pesquisadores constataram que todos os métodos avaliados são válidos e se ajustam à realidade, sendo capazes de descrever uma realidade complexa. Pela análise de algumas situações os parâmetros mais relevantes na degradação das fachadas podem ser identificados. Com certeza nenhum dos métodos considerados é o melhor, pois os métodos mais simples consomem menos tempo e podem ser igualmente eficazes, mas são capazes de analisar o problema apenas em uma dimensão, ou seja, eles só dizem respeito à degradação fachadas com a idade do edifício, por exemplo. Já os métodos

mais complexos e demorados são geralmente mais elaborados e requerem técnicas mais elaboradas, que muitas vezes não são de fácil acesso, mas estes tendem a ser mais precisos e permitem analisar vários parâmetros que influenciam os fenômenos de degradação (HOVDE, 2004).

Os principais métodos utilizados para a estimativa da vida útil (Figura 2.10) podem ser distinguidos em três abordagens diferentes: métodos determinísticos, métodos probabilísticos (ou estocásticos) e métodos de engenharia (HOVDE, 2004; JERNBERG et. al., 2004;).

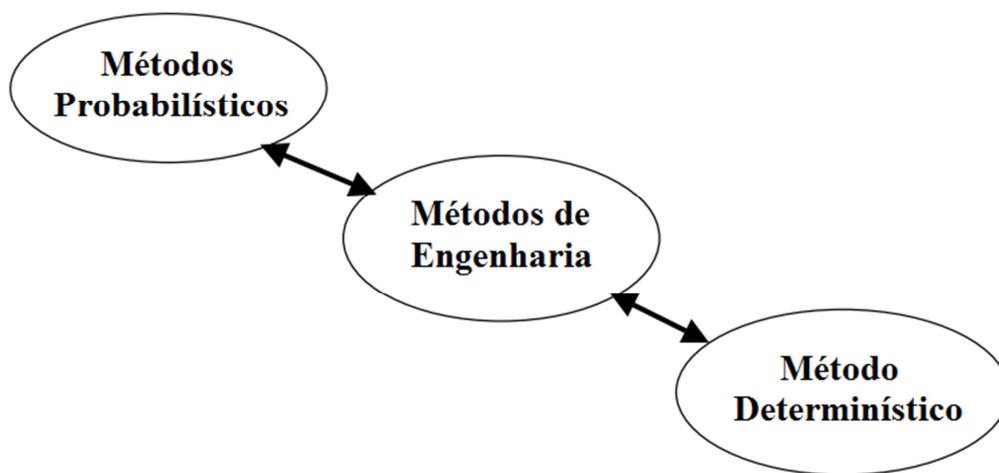


Figura 2.10 – Relação entre diferentes tipos de métodos de previsão de vida útil (Adaptado de Hovde, 2004).

### 2.5.1 Métodos determinísticos

Os métodos determinísticos são baseados no estudo dos fatores de degradação que afetam os elementos estudados, na compreensão dos seus mecanismos de atuação e na sua quantificação. Estes fatores são expressos em fórmulas de cálculo que apresentam a sua ação ao longo do tempo, até que atinja o valor mínimo aceitável de desempenho do elemento estudado. Estes métodos são considerados de fácil compreensão e rápida aplicação, porém, devido a sua simplicidade é alvo de várias críticas (ANSELMO, 2012; PINHEIRO 2013; SANTOS, 2010). No entanto, estes métodos são os que têm produzido mais resultados práticos, servindo de base para a norma ISO 15686-2: 2012.

Estes métodos são frequentemente usados em projeto de durabilidade, porém destaca-se que neste a dispersão de degradação não é considerada. É considerado apenas um valor médio dos parâmetros conhecidos. Em muitos casos, a informação gerada pelos métodos determinísticos é insuficiente para avaliar o risco de não alcançar a vida útil estimada (HOVDE, 2004).

São considerados dois tipos de métodos determinísticos um que assume a forma mais simplificada, estimando apenas o valor determinístico da vida útil do elemento, como é o caso do Método Fatorial e o outro tipo de métodos determinísticos é denominado de Método de Correlação Estatística, o qual consiste na definição de curvas de degradação, que pretendem representar a evolução da degradação do material ou componente durante um determinado período de tempo (SILVA; BRITO; GASPAR, 2016).

### **2.5.2 Métodos probabilísticos**

Nos métodos probabilísticos, a degradação é considerada como um processo estocástico, onde a probabilidade de deterioração é definida para cada propriedade durante um período de tempo (PINHEIRO 2013). Estes métodos têm geralmente como base o cálculo matricial ou probabilístico, permitindo assim, a elaboração de modelos que permitam descrever ao longo do tempo, a evolução da degradação com as correspondentes incertezas. Diferem dos modelos determinísticos por incluírem na estimativa de vida útil, uma componente probabilística, não apresentando somente um valor como estimativa, mas sim, intervalos de possíveis valores com probabilidades de ocorrência associadas (ANSELMO, 2012; GARRIDO, 2010).

Para garantir que os resultados expressem adequadamente o desempenho do elemento e permitam compreender os fenômenos de degradação a que este está sujeito é necessária a obtenção de uma grande quantidade de informações obtidas através do trabalho de campo em um extenso período de tempo para o desenvolvimento deste método. A dependência do trabalho de campo deste método e sua complexidade tornam a sua aplicabilidade reduzida (HOVDE, 2004; GASPAR; BRITO, 2005(a)).

Silva (2016) afirma ainda que através dos modelos estocásticos, que incluem a análise de regressão logística e modelos de cadeia de Markov, a vida útil pode ser analisada com base

nas funções de distribuição probabilística. E quando os modelos distintos apresentam o mesmo nível de complexidade, modelos estocásticos são geralmente superiores quando comparada com formulações deterministas puras, pois apresentam um desempenho consideravelmente melhor em lidar com a incerteza associada a um fenômeno complexo, como a degradação dos edifícios.

### **2.5.3 Métodos de engenharia**

Os métodos de engenharia pretendem combinar os métodos determinísticos e probabilísticos. De forma a manter a simplicidade dos métodos determinísticos, melhorando-os, através da introdução de dados probabilísticos que exijam menor quantidade de informação. A obtenção da vida útil estimada é realizada a partir da associação dos dados probabilísticos e a simplicidade de utilização e menor exigência de volume de dados que é possibilitada pelos métodos determinísticos. São introduzidos dados estatísticos na definição dos fatores de degradação permitindo a integração de um pouco de variabilidade associada à incerteza da realidade (ANSELMO, 2012; PINHEIRO, 2013; SANTOS, 2010).

Uma das vantagens dos métodos de engenharia é a identificação dos fenômenos de degradação e identificação de diminuição do desempenho de uma forma mais analítica, assim permitindo um melhor controle, correção do projeto e/ou alteração nos planos de manutenção (BORDALO *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2014; SOUSA, 2008).

## **2.6 INDICADOR DE DEGRADAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Atualmente, existem diferentes métodos para avaliar o desempenho dos revestimentos ao longo do tempo, que relacionam a perda de desempenho dos elementos às suas condições de idade e de serviços. Gaspar e de Brito (2008) e Silva (2014) afirmam que o nível de degradação geral de qualquer elemento do edifício, geralmente, pode ser avaliado por meio de um índice quantitativo que representa o seu desempenho global.

Diversos índices foram apresentados por pesquisadores, com o intuito de construir modelos de degradação e obter estimativas da vida útil do sistema analisado. Dentre estes, para o presente estudo, destaca-se o índice severidade da degradação (S), apresentado por Gaspar

(2009). O indicador de degradação é representado em curva de degradação, onde as abcissas correspondem à variável “idade” e as ordenadas à variável do indicador de degradação, denominado “severidade” para cada amostra de fachada inspecionada.

Em alguns estudos, este índice de severidade (S) é chamado por Nível Geral de Danos (NGD), no estudo de Gaspar e Brito (2008) e também por Over Degradation Level (ODL), no estudo de Galbusera (2013).

O índice severidade da degradação (S) foi utilizado em diversos estudos, porém sendo adaptados para a realidade de cada edifício analisado. Inicialmente, o estudo de Gaspar (2009) foi aplicado às fachadas revestidas com reboco argamassado. Posteriormente, foi adaptado por outros pesquisados, cita-se o estudo de Silva (2009), que utilizou este índice para fachadas com revestimentos pétreos e de Bordalo (2010) para fachadas revestidas por placas cerâmicas.

Dentre as diversas adaptações do indicador de degradação severidade (S), destaca a adaptação feita por Silva (2014), que ajustou os critérios da fórmula de severidade para a realidade das fachadas revestidas por placas cerâmicas no Brasil, mais especificamente na região de Brasília-DF e nomeou o índice de degradação como Fator Geral de Danos (FGD).

A metodologia FGD foi baseada em diversos autores que estudaram e aperfeiçoaram as metodologias, visando auxiliar na inspeção, na avaliação e na quantificação das degradações em fachadas, dentre estes se destacam os estudos de Shohet *et al.* (1999), Gaspar e Brito (2011), Sousa (2008), Silva (2009), Taguchi (2010) e Galbusera (2013).

A metodologia FGD estabelece uma ferramenta que permite estudar os fenômenos que promovem o surgimento e a evolução dos processos de degradação das fachadas, sistematizando a avaliação do comportamento da degradação em função do tempo nas fachadas com revestimento cerâmico. As análises das curvas de degradação são efetuadas a partir do modelo de cálculo de degradação FGD em fachadas revestidas por placas cerâmicas.

O FGD consiste em um modelo de cálculo de degradação ponderado por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias consideradas no levantamento das inspeções em fachadas. Citam-se como as principais anomalias nas fachadas revestidas por placas cerâmicas o descolamento cerâmico, a fissuração, a falha de rejunte, a eflorescência e a falha de vedação. O índice de degradação FGD, que relaciona a área total degradada com a área total da fachada, considerando a pior condição possível, é calculado conforme apresentado na Equação 2.1.

$$FGD = \frac{\sum(A_n \cdot k_n \cdot k_{c,n})}{(A \cdot k)} \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde:

FGD – Fator Geral de Danos (%);

$A_n$  – Área de uma fachada afetada por  $n$  tipos de anomalias ( $m^2$ );

$k_n$  – Nível de condição das anomalias contido no intervalo (0; 0,02; 0,20; 2,00; 4,00);

$k$  – Constante, equivalente ao nível da pior condição ( $k = 4,00$ );

$k_{c,n}$  – Custo relativo de reparação das anomalias observadas;

$A$  – Área da amostra de fachada ( $m^2$ ).

$n$  – Referência do tipo de anomalia ( $n=1$  - descolamento cerâmico,  $n=2$  - falha de rejunte e  $n=3$  - fissuras,  $n=4$  - eflorescência e  $n=5$  - falha de vedação).

As variáveis de ponderação  $k$ ,  $k_n$  e  $k_{c,n}$  refletem e estabelecem pesos de importância para cada tipo de anomalia. A ponderação do  $k_n$  estabelece a hierarquia de cada tipo de dano em função da extensão de ocorrência. Essa ponderação fornece ainda a sinergia ou a contribuição da propagação dos danos. A Tabela 2.7 mostra os valores dos fatores de ponderação atribuídos aos diferentes tipos de danos.

Tabela 2.7 – Critério de níveis de condição ( $k_n$ ) utilizados por Silva (2014).

Nível de condição (k)	Tipo de dano	Nível de ponderação ( $k_n$ )	Nível de ponderação ( $k_{cn}$ )
Nível 0 – Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	-	-
Nível 1 – Boa condição	-	-	-
Nível 2 – Degradação suave	Falha de Rejunte (FR)		0,06
	Eflorescência (EF)	0,20	0,12
	Falha de Vedação (FV)		0,08
Nível 3 – Degradação elevada	-	-	
Nível 4 – Degradação grave (extrema)	Fissuração (FI)	4,00	1,00
	Desc. Cerâmico (DC)		0,82

A constante  $k$  para o estudo de Silva (2014) assume o valor 4,0, estabelecendo então o padrão máximo de degradação, ou seja, o maior nível associado aos danos. A pesquisadora afirma que ao atribuir o maior valor numérico de ponderação presume-se a situação mais crítica de determinada amostra.

A constante  $k_{c(n)}$  é o fator relativo de custo de reparo e representa a ponderação da importância relativa atribuída ao custo de reparação de cada tipo de anomalia, e foi obtida em função da proporção pelo custo de reparo mais elevado. Os valores adotados para cada anomalia estão apresentados na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Constantes de ponderação da importância relativa das anomalias (Silva, 2014).

Anomalias	$k_{c(n)}$
Falha de Rejunte (FR)	0,06
Eflorescência (EF)	0,12
Falha de Vedação (FV)	0,08
Fissuração (FI)	1,00
Desc. Cerâmico (DC)	0,82

As análises dos resultados do FGD, apresentados por Silva (2014), são efetuadas em função da idade e da influência da orientação cardeal nas fachadas. Na Figura 2.11, apresentam-se os resultados do FGD em função da orientação das fachadas (Norte, Leste Sul e Oeste). Onde pode ser observado que o comportamento das curvas de degradação do FGD mostra tendências diferenciadas para as orientações Sul-Leste e Norte-Oeste.

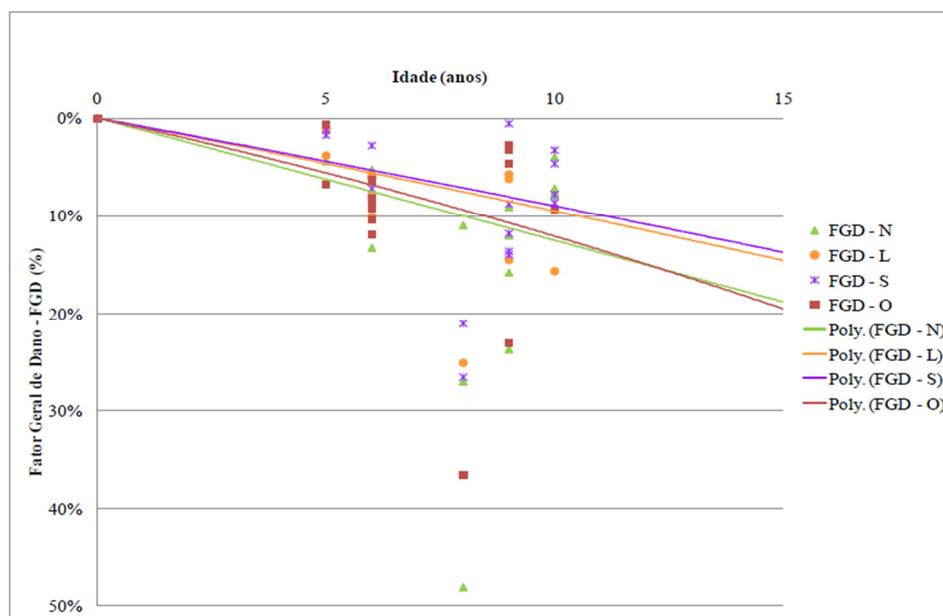


Figura 2.11 – Curvas de evolução de degradação em função da orientação para Fator Geral de Danos (SILVA, 2014).

O estudo desenvolvido por Silva (2014) formou a base para o desenvolvimento desta pesquisa. Porém, foram necessárias algumas adaptações dos parâmetros e critérios tendo em vista as diferenças dos critérios adotados na quantificação de danos e a inserção de novos edifícios ao banco de dados da pesquisa de Silva (2014), que são apresentados no capítulo de metodologia e discutidos no capítulo de análise de resultados.

## 2.7 DISTRIBUIÇÃO DE DANOS EM FACHADAS

Uma das ênfases deste estudo é a verificação de como a degradação ocorre nas fachadas, de forma a observar quais as regiões e/ou elementos de fachadas que são mais susceptíveis à degradação.

É notória a ocorrência preferencial de danos em algumas regiões da fachada, assim tornando a complexidade da análise dos danos mais evidente. Em uma análise por regiões é possível encontrar relação entre algumas das principais variáveis ao sistema de revestimento, principalmente sua própria composição (em camadas de diferentes materiais) e seu confinamento (entre vigas e pilares) (SILVA, 2014). As diversas regiões das fachadas apresentam processo de degradação diferenciado em virtude de alguns fatores, como forma de exposição, dimensão da área da região ou ainda por outros fatores que atuam sobre os elementos da fachada (SOUZA *et al.*, 2015).

Conforme Freitas, Vieira e Guimarães (2013), estudos em países da Europa verificaram a degradação diferenciada no edifício como um todo. Na Noruega, a degradação dos elementos do edifício localizados nas fachadas do edifício, apresentam-se em mais de 60% da degradação apresentada nos edifícios por completo. Na França, os elementos de envoltória do edifício, como fachadas, telhados e terraços, são responsáveis por aproximadamente 35% das anomalias relatadas entre 1995 e 2009.

No Brasil, o estudo realizado em 5 edifícios por Antunes (2010), apresentou como regiões críticas as regiões em torno das aberturas, seguidas das paredes contínuas, próxima das juntas, cantos e extremidades, transição entre os pavimentos, topo, sacadas e, por fim, próximo ao nível do solo. Bauer *et al.* (2015) afirmam que a suscetibilidade ao dano das regiões ocorre em função do confinamento, continuidade e descontinuidade das fachadas e destaca a elevada sensibilidade da região das paredes contínuas para o surgimento de anomalias.

Ressaltam-se as observações são obtidas a partir de um indicador preliminar, o qual considera apenas as áreas ou quantidade de danos, sem considerar qualquer outro tipo de influência. A determinação de regiões mais suscetíveis à degradação passa a ser um enfoque importante tanto no entendimento dos mecanismos de degradação, quanto na retroalimentação de elaboração e especificação de novos projetos.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia que se propõe no presente trabalho aborda os aspectos relacionados com a vida útil dos edifícios, particularmente das fachadas dos edifícios. Em consequência da norma de desempenho ABNT NBR 15575-1: 2013, que, dentre outros vários aspectos, estabelece o tempo de vida útil dos elementos das edificações, propõe-se a uma abordagem que permita estudar os principais aspectos associados ao surgimento e à evolução dos processos de degradação das fachadas. Neste sentido, este trabalho apresenta uma consolidação da metodologia apresentada por Silva (2014), que tem agora por finalidade propor uma modelação do perfil de degradação e aplicação desta abordagem às regiões que compõem as fachadas (aberturas, topo, transição entre pavimentos, sacadas, cantos e extremidades e paredes contínuas).

O presente estudo foi baseado principalmente em dois estudos, Silva (2014) e Gaspar e Brito (2005). O estudo de Gaspar e Brito (2005), por sua vez, avalia a incidência de anomalias nas diferentes regiões da fachada. A pesquisa realizada por Silva (2014) foi originada a partir da adaptação de uma ferramenta, que vem sendo aperfeiçoada por Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Gaspar (2009), associada à metodologia de avaliação e diagnóstico da degradação em fachadas utilizada pelo Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM – UnB).

Os dados obtidos pelo LEM – UnB, através de inspeções, foram coletados de forma sistemática, possibilitando a apresentação dos dados em planilhas de levantamento. Desta forma, foi viável a quantificação da extensão dos danos de fachadas em função de três grupos de análise: faixa de idade, exposição aos agentes climáticos (orientação cardinal) e elemento de arquitetura (fachada, empena, caixa de escada, dentre outros).

É importante destacar que as informações disponibilizadas, a partir de um sistema de catalogação de informações efetuado pela equipe do LEM-UnB, tem sido coletadas a mais de 20 anos e possuíam como propósito atender à demanda técnica, ou seja, consistia na inspeção das fachadas dos edifícios para a identificação das anomalias e diagnóstico para possíveis procedimentos de manutenção a serem adotados. Esse banco de dados atém-se ao estudo de edifícios e tem como característica uma metodologia única na coleta das informações associada à classificação das anomalias observadas. Ressalta-se também que o

banco de dados é constituído por informações de edifícios em condições reais de utilização e de exposição. Antunes (2010) e Silva (2014) utilizaram parte dos exemplares desse banco de dados do LEM para compor as amostras de seus trabalhos de pesquisa.

Diante do exposto, o presente estudo pode ser dividido em três etapas: (1) Método de Mensuração de Degradação (MMD), (2) Estudo do Fator de Danos (FD) e (3) Estudo do Fator Geral de Danos (FGD). Na Figura 3.1 é apresentada uma esquematização do procedimento metodológico adotado para a presente dissertação.

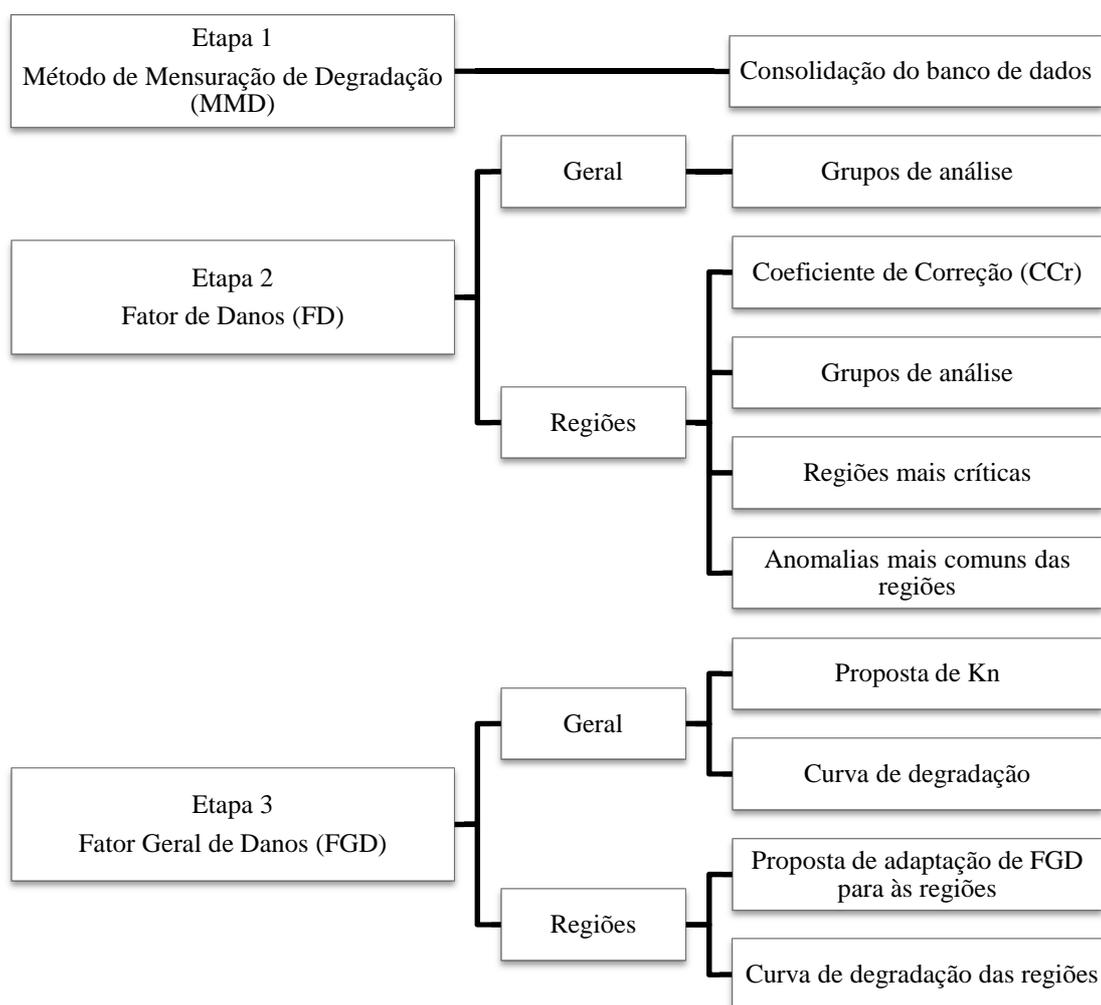


Figura 3.1– Esquema da sequência de procedimentos metodológicos adotados

A fase de consolidação de banco de dados foi caracterizada pela constante busca por informações que pudessem auxiliar na compreensão inicial do processo de degradação. Para tanto, foram quantificadas áreas de danos em mapeamentos de danos, de modo a

mensurar a degradação nas fachadas. Esta forma de quantificação é nomeada como Método de Mensuração de Degradação (MMD).

A segunda etapa foi marcada por uma análise do FD, que é um índice que quantifica a degradação física dos elementos, sem associação com gravidade ou tipo de anomalias. Em um momento inicial, verificou-se a frequência de ocorrência do FD para os grupos de análises estabelecidos (faixa de idade, orientação cardinal e elementos de arquitetura) e, posteriormente, realizou-se um estudo dos valores representativos para os mesmos. A análise da degradação para as diferentes regiões que compõem as fachadas ocorreu devido à forma diferenciada desta ao longo da fachada.

A terceira etapa constitui-se na análise do FGD, que é um índice empregado para mensuração da degradação, o qual pondera vários fatores importantes no processo. Este estudo teve-se também em verificar a influência e a importância destes fatores no processo de degradação por meio de uma análise de sensibilidade.

É importante dizer que diversos estudos anteriormente realizados forneceram somente respostas permitindo estabelecer possíveis hipóteses para o estágio de degradação. Cita-se, como exemplo, o estudo de Antunes (2010), que apontou índices referentes a uma contabilização simples das anomalias, em números discretos, não verificando, por exemplo, se o descolamento cerâmico é pontual ou generalizado ou se uma fissura possui 0,15 m ou 1,5 m de comprimento. Destaca-se um diferencial do presente estudo que permite verificar quantitativamente, em metros quadrados, a intensidade e/ou gravidade da degradação da fachada em análise.

### **3.1 AMOSTRAS DE ESTUDO**

A quantificação de danos foi realizada em 17 edifícios residenciais localizados no Distrito Federal – DF compondo mais de 50.000 m<sup>2</sup> de fachadas. Foram estudados edifícios que apresentaram anomalias, ou seja, com casos que apresentaram degradação. O universo de estudo são todas as fachadas ou parte delas inspecionadas e avaliadas para este estudo. O resultado, mapeamento danos, de cada inspeção realizada são denominados amostra. Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo de como é considerado uma amostra de fachada.



Figura 3.2 – Exemplo de amostra de fachada

Apresenta-se, na Figura 3.3, a distribuição de idade das amostras inspecionadas, que variam entre 5 e 48 anos. Como pode ser observado, o universo de estudo abrange um amplo intervalo de idades, variando de forma relativamente uniforme a sua distribuição. Esta abrangência e uniformidade são importantes para a qualidade final dos resultados, pois a idade influencia de forma determinante no processo de degradação.

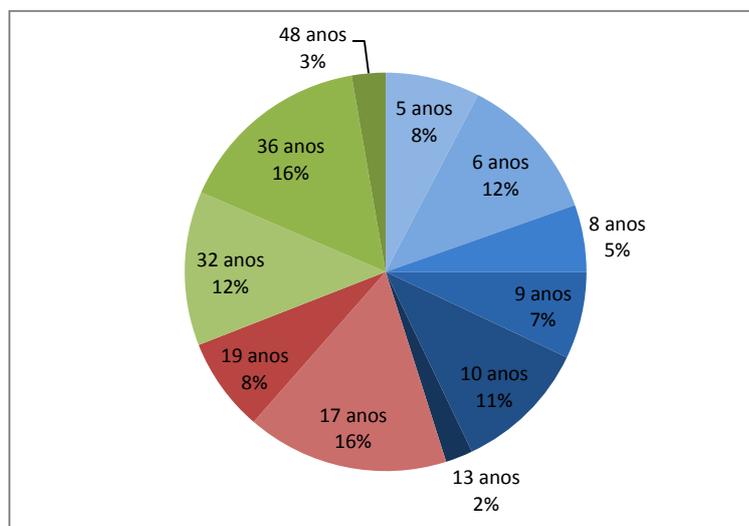


Figura 3.3 – Distribuição das amostras inspecionadas por idade.

É importante ressaltar duas características básicas das amostras: uma amostra não pode apresentar diferença de orientação e deve ser do mesmo elemento de arquitetura. Outra característica é que a composição das regiões é de forma diferenciada para cada amostra, pois cada edifício apresenta particularidade na sua disposição. Na Tabela 3.1 é apresentada a quantidade de amostras para cada grupo de análise dos edifícios analisados.

Tabela 3.1 – Relação das quantidades de amostras

Id.	Edifício	Idade	Quant. de amostras							Total
			N	S	L	O	F	E	Cx.	
1	Vitória	6	3	2	2	4	6	5		11
2	N 211 G	9	5	6	1	1	11	2		13
3	N 402 C	6	1	1	4	5	9	2		11
4	N 316 K	5	1	1	4	4	8	2		10
5	N 212 H	8	4	2	2	2	6	4		10
6	N 115 B	32	9	12	1	1	18	2	3	23
7	N 303 H	10		1	3	3	6	1		7
8	N 306 B	48	1	2	1	1		2	3	5
9	S 212 A	36	12	8	5	4	16	1	12	29
10	Madri	10	7	4	1	1	11	2		13
11	Porto	17		3			3			3
12	Varandas	19	2	2	5	5	10	4		14
13	América	5	1	1	1	1		4		4
14	Flamboyant	13	2	1	1		3	1		4
15	AOS 2 Bl. D	17	2	2	3	2	6	3		9
16	AOS 2 Bl. E	17	2	2	3	2	6	3		9
17	AOS 2 Bl. G	17	2	1	4	2	6	3		9
Total			54	51	41	38	125	41	18	184

Devido às características particulares de cada inspeção e de cada edifício, observa-se na Tabela 3.1, que existem diferentes quantidades de amostras para cada edifício, ou seja, existem edifícios com mais amostras estudadas e outros com menos. Ressalta-se ainda que os dados coletados advem dos resultados de inspeção das fachadas de edifícios disponibilizadas pelo LEM-UnB.

A partir das informações obtidas, de forma a sistematizar o banco de dados, foi atribuído um código de identificação para cada edifício, com o prefixo “A”, seguido do número de identificação da amostra de fachada inspecionada, por exemplo, o edifício Porto do Sol possui número de identificação 11 e foram realizadas 3 subdivisões (prumadas), então as amostras deste edifício são identificadas como A11.1, A11.2 e A11.3. No Anexo I é apresentado um exemplo de uma caracterização geral de um edifício, sendo apresentadas

as informações gerais, o mapeamento com a sobreposição da malha e a Ficha de Quantificação (FQ) de um edifício.

A seleção dos edifícios seguem os seguintes critérios:

- (a) Estar localizado na região do Distrito Federal;
- (b) Possuir sistema de revestimento cerâmico;
- (c) Apresentar área degradada no sistema de revestimento cerâmico;

### **3.2 MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO (MMD)**

Com o intuito de entender como os dados estavam organizados, checar os valores observados e propor melhorias na catalogação do banco de dados elaborado por Silva (2014), foi realizada, inicialmente, uma verificação do banco de dados. Notou-se a necessidade de uma recontagem dos danos, pois a contagem dos danos dos novos edifícios a serem inseridos no banco de dados deveriam utilizar o mesmo critério de contagem e definição das regiões.

Diante disto, nesta etapa são estabelecidos os critérios adotados no MMD para a quantificação de danos, assim fornecendo as informações necessárias sobre a metodologia adotada para a consolidação do banco de dados.

A padronização do MMD foi realizada através da definição de procedimentos básicos, assim sistematizando essa etapa de quantificação de danos, são eles:

- (i) Sobreposição da malha,
- (ii) Divisão da malha por andares,
- (iii) Divisão das regiões da fachada
- (iv) E por fim contabilizam-se os danos identificados e faz-se o preenchimento da ficha de danos de cada amostra.

Após a elaboração do mapeamento de dados, inicia-se a etapa de sobreposição da malha, sobrepõe-se ao mapeamento de danos uma malha de dimensões igual a 0,50 m x 0,50 m, equivalente a 0,25 m<sup>2</sup>, conforme estabelecido por Silva (2014). O ponto inicial de

sobreposição das malhas dá-se pela parte inferior esquerda do mapeamento, conforme ilustrado na Figura 3.4.

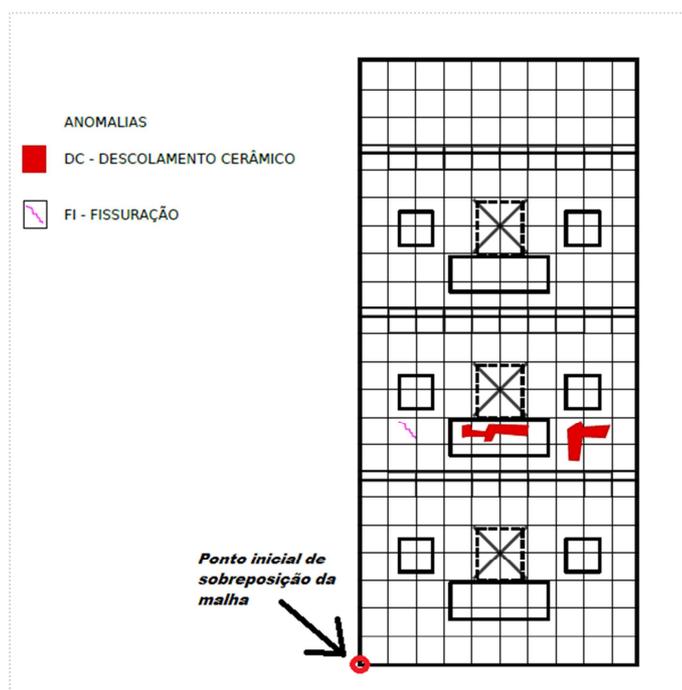


Figura 3.4 – Esquema ilustrativo do critério de sobreposição da malha

Em seguida, faz-se uma divisão da fachada por andares e das regiões que compõem a fachada, conforme o esquema ilustrativo apresentado na Figura 3.5. Baseado em análises estatísticas apresentadas por Silva (2014), as regiões de Transição entre Pavimentos (TP) e Juntas entre Pavimentos (JP) possuem o mesmo comportamento, sendo assim para o presente estudo optou-se por analisar apenas 6 regiões de fachada, são elas: (1) Parede Contínuas (PC) – áreas contínuas; (2) Aberturas (AB) – áreas em torno das janelas; (3) Sacadas (SC) – áreas de paredes de guarda corpo que se sobressaem do plano de fachada; (4) Cantos e Extremidades (CE) – áreas de contorno do plano de fachada; (5) Transição entre Pavimentos (TP) – áreas entre os andares, a cada pé direito; (6) Topo (TO) – áreas de platibanda.

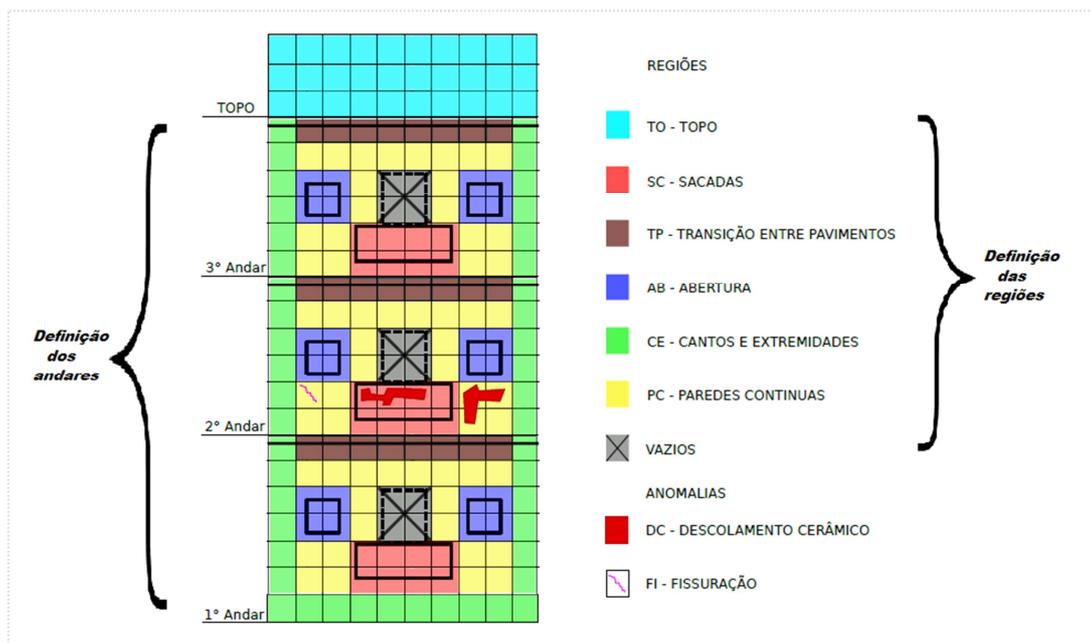


Figura 3.5 – Esquema ilustrativo da divisão dos andares e das regiões da fachada

Em geral, os critérios utilizados para a definição das regiões é feito de forma sequencial. Após a demarcação dos andares, são definidas quais as unidades de malhas que representam as aberturas, sacadas, cantos e extremidades, transição entre pavimentos, paredes contínuas, e por fim o topo. É importante destacar que a divisão da fachada em regiões não possui como objetivo estudar os elementos, tais como sacadas em balanços ou esquadrias, mas sim analisar como a degradação apresenta-se no plano de fachada.

Definidos as regiões e andares que cada unidade de malha representa, faz-se a contagem das unidades de malha em cada amostra de fachada e preenche-se a Ficha de Quantificação (FQ). Nas FQ's são registradas informações de identificação e também, a partir uma contagem simples de unidades de malha, o valor da área da total e da área danificada, de forma a classificar o tipo, o andar e a região do dano identificado.

Ressalta-se que na etapa de quantificação de danos foram contabilizadas apenas as anomalias de: Descolamento Cerâmico (DC); Fissuras (FI); Falhas de Rejunte (FR); Eflorescências (EF); e Falha de Vedação (FV). A escolha destes tipos de patologias ocorreu em função das informações contidas nos mapeamentos de danos fornecidos pelo LEM-UnB e também por serem anomalias comuns em sistemas de revestimento cerâmico.

Desta maneira, a consolidação do banco de dados, que é constituído pelas informações extraídas das fichas de quantificação preenchidas durante o processo de quantificação de danos, foi através do MMD.

### **3.3 FATOR DE DANOS (FD)**

Na etapa posterior à consolidação do banco de dados, iniciou-se as análises de dados a partir do FD, que é utilizado também como balizador dos estudos de degradação que estimam a vida útil.

De maneira à sistematizar o presente estudo e com o objetivo de expor os principais fatores que influenciam o processo de degradação foram definidos três grupos de análise de FD:

- i. Faixa de idade – O aumento da ocorrência e gravidade das anomalias ao longo do tempo indica que as idades das fachadas influenciam sobre o processo evolutivo da degradação.
- ii. Exposição aos agentes climáticos (orientação cardeal) - A variação de exposição de um mesmo material ou componente aos agentes climáticos (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, vento, chuva dirigida) promovem a degradação do elemento e/ou sistema de fachada.
- iii. Elemento de arquitetura – Um edifício é constituído por elementos arquitetônicos que configuram materialmente a sua composição, como por exemplo, fachadas e suas regiões: pilotis, caixa de escada, empenas, prumadas, sacadas, platibanda, detalhes arquitetônicos ou construtivos, entre outros.

Ressalta-se que este trabalho não tem como objetivo avaliar o desempenho dos elementos, como das esquadrias, dos elementos em balanço, entre outros, mas sim avaliar o comportamento da região como um todo. Salienta-se que estas e outras avaliações são interessantes e podem ser desenvolvidas em estudos futuros.

As orientações cardeais das amostras de fachadas foram classificadas a partir de localização obtida do Google Maps. Foram definidos quatro quadrantes, balizados pelos

azimutes, para agrupar as fachadas nas principais orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), como descrito a seguir e ilustrado na Figura 3.6. Ressalta-se que esta forma de classificação foi utilizada por Siva (2014) e por Garrido, Paulo e Branco (2012).

- 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°;
- Orientação Oeste: compreendida entre os azimutes 225° e 314°;

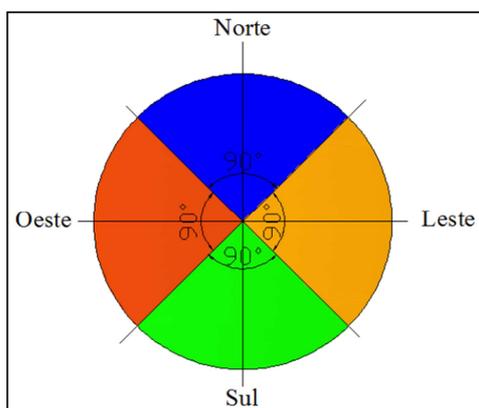


Figura 3.6 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas (Silva, 2014).

Para uma análise preliminar básica da área degradada de uma fachada utiliza-se o FD, que representa a extensão de área degradada da fachada. O FD pode ser calculado em função da degradação em geral e da região. São definidas duas formas de análises, conforme apresentadas a seguir.

- **Fator de Danos Total (FD<sub>Total</sub>):** consiste em um parâmetro inicial do estudo. Sua importância advém da medida básica da degradação, pois delinea a degradação para análises mais complexas. Porém com limitações, uma vez que não considera a influência e a importância de cada tipo de anomalia presente no fenômeno de degradação. Este índice permite verificar qual a parcela de área danificada em determinada amostra, e é calculado conforme apresentado na Equação 3.1.

$$FD_{Total} = \sum \frac{A_{d(n)}}{A_t} \quad \text{Eq 3.1}$$

Onde:

$A_d$  : área danificada de determinada anomalia (n);

$A_t$  : área total da amostra.

Ressalta-se que o Fator de Dano Total ( $FD_{Total}$ ) está diretamente associado aos fatores de danos das anomalias consideradas, ou seja, o somatório de FD de cada anomalia equivale ao  $FD_{Total}$ .

Devido a este estudo abordar diversas anomalias, o  $FD_{Total}$  pode ultrapassar o valor de 1,00. Este fato justifica-se por existirem sobreposição de anomalias dentro de uma mesma fachada.

- **Fator de Danos da Região Corrigido ( $FD_{RC}$ ):** é uma derivação do FD, porém com o enfoque nas regiões. Sabe-se que há uma variação nos valores de área das regiões em uma mesma fachada, onde algumas regiões apresentam maiores áreas que outras, ou seja, cada edifício possui proporções diferentes de área entre as regiões. Como a degradação é medida em área degradada, regiões com maior área possivelmente terão maior índice de degradação do que regiões com menor área. Para uma comparação adequada da extensão de anomalias nas diferentes regiões, faz-se necessário estabelecer um fator que faça uma equivalência entre as regiões, permitindo assim uma análise coerente ao compará-las quanto à degradação.

O Coeficiente de Correção das regiões ( $CC_r$ ) é um fator que permite a correção da proporcionalidade das regiões que compõem a fachada, ou seja, representa uma parcela em função da menor área. Para tanto, faz-se uma razão entre a área da região de menor área e a área da região em análise (Equação 3.2), e conseqüentemente as regiões com menores áreas recebem pesos maiores.

$$CC_r = \frac{A_{r(m)}}{A_{r(x)}} \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

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

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

Por exemplo, uma amostra de fachada que possui 100 m<sup>2</sup> (sendo 45 m<sup>2</sup> de Paredes Contínuas, 38 m<sup>2</sup> de Aberturas, 3 m<sup>2</sup> de Cantos e Extremidades, 5 m<sup>2</sup> de Transição entre Pavimentos e 9 m<sup>2</sup> de Topo) tem a região de menor área igual 3 m<sup>2</sup>, referente à região de Cantos e Extremidades. Então, o cálculo do  $CC_r$  de Paredes Contínuas desta amostra de fachada é:

$$CC_r (\text{Paredes Contínuas}) = \frac{3 \text{ m}^2}{45 \text{ m}^2} \cong 0,06667$$

De posse do  $CC_r$  é possível calcular o  $FD_{RC}$ , assim permitindo verificar o nível de degradação em determinada região de uma amostra. Ressalta-se que este é um índice que independe do tipo de anomalia, mas depende da região em que se localiza a anomalia. O cálculo deste índice é apresentado pela Equação 3.3.

$$FD_{RC} = \left( \frac{\sum Ad_{r(n)}}{A_t} \right) \times CC_r \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

$Ad_{r(n)}$  : área danificada de determinada anomalia (n) em determinada região

$A_t$  : área total da amostra

$CC_r$  : coeficiente de correção da região em análise

A análise da degradação da fachada foi realizada em função do  $FD_{Total}$  para cada grupo de análise (faixas de idade, exposição e elemento de arquitetura). E como esperado, a partir do  $FD_{RC}$  realizou-se a análise da degradação das regiões que compõem a fachada.

A identificação das regiões mais críticas foi baseado nos valores característicos, onde se apresenta uma relação dos valores encontrados de cada região para cada grupo de análise. E por fim, de forma a verificar as anomalias mais comuns, calcula-se a distribuição das anomalias.

A Distribuição de Danos (DD) apresenta, em termos percentuais, a distribuição em que ocorrem os danos, ou seja, é um dado que permite verificar o percentual representativo de cada anomalia da área total danificada. A Equação 3.4 descreve o cálculo do DD.

$$DD = \frac{Ad(n)}{\sum Ad(n)} \quad \text{Equação 3.4}$$

Onde:

$Ad(n)$  : área da anomalia (n).

### 3.4 FATOR GERAL DE DANOS (FGD)

A definição de alguns parâmetros foi delimitada a partir das análises de  $FD_{Total}$ , conforme descrito no item anterior. O estudo de  $FD_{Total}$  também expôs o comportamento da degradação em função do tempo, porém este fator caracteriza apenas os fenômenos de degradação e não reflete a condição nem a gravidade em que o dano se apresenta. Diferentemente do FGD que estabelece uma relação entre gravidade da área degradada e a pior condição de degradação possível de uma fachada.

Pretende-se desenvolver modelos de curvas de evolução de danos que auxiliem pesquisadores e especialistas na compreensão do processo de degradação em que se encontram as fachadas de edifícios com revestimento cerâmico. Nesse sentido, surge assim a importância da aplicação de um fator que estabeleça um grau de gravidade da degradação nas fachadas. O estudo desenvolvido por Silva (2014) formou a base para o desenvolvimento desta pesquisa. Porém, foram necessárias algumas adaptações dos parâmetros utilizados para o estudo da degradação das fachadas, tendo em vista as diferenças dos critérios adotados na quantificação de danos e a inserção de novos edifícios ao banco de dados utilizados por Silva (2014). A importância deste estudo, então, advém da necessidade de adequação de critérios para a realidade do universo de estudo adotado.

#### 3.4.1 $FGD_A$ – Fator Geral de Danos adaptado para o banco de dados

O indicador de degradação FGD proposto por Silva (2014) sofreu algumas adaptações. Este novo indicador, agora é nomeado por  $FGD_A$  e determina a gravidade de degradação. A Equação 3.5 consiste no modelo de cálculo de  $FGD_A$  com as adaptações de  $k_n$  e  $k_{máx}$ .

Ressalta-se que a constante  $k_{cn}$  (Tabela 2.8) permanece igual ao proposto na equação do FGD (Equação 2.1).

$$FGD_A = \frac{\sum A_{d(n)} \times k_{nA} \times k_{cn}}{\sum k_{m\acute{a}x} \times A_t} \quad \text{Equação 3.5}$$

Onde:

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

$k_{nA}$ : constante de ponderação das anomalias  $n$ , em função do nível de condição, onde  $k_n \in \{1,2,3,4\}$ ;

$k_{c(n)}$ : constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas;

$\sum k_{m\acute{a}x}$ : somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição, conforme Bordalo *et al.* (2010), Silva (2009) e Silva *et al.* (2011a) – toma o valor 17 (4 + 4 + 3 + 3 + 3) – (anomalias consideradas: descolamento cerâmico, fissuração, falha de rejunte, eflorescência e falha de vedação).

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

O  $k_{nA}$  é o nível de condição de degradação, que estabelece uma escala de degradação, de forma hierárquica, das anomalias conforme sua extensão de ocorrência, como apresentado na Tabela 3.2. A escala de degradação é apresentada em cinco níveis de condição entre 0 (sem degradação visível) e 4 (degradação generalizada), correspondendo o nível 3 ao fim da vida útil do sistema em análise. Os critérios adotados foram baseados na distribuição de frequência de  $FD_{Total}$ , conforme descrito e discutido no capítulo de análise de resultados.

Tabela 3.2 – Critério de níveis de condição ( $k_n$ ) utilizados para o FGD<sub>A</sub>.

Nível de condição	Tipo de dano	Nível de ponderação ( $k_n$ )	% área degradada
Nível 0 – Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	-	-
Nível 1 – Boa condição	Falha de Rejunte (FR)	1	< 4,3%
	Eflorescência (EF)		< 1,2%
	Falha de Vedação (FV)		< 5,7%
Nível 2 – Degradação ligeira	Falha de Rejunte (FR)	2	4,3% < x < 9,0%
	Eflorescência (EF)		1,2% < x < 1,5%
	Falha de Vedação (FV)		5,7% < x < 8,1%
	Fissuração (FI)		< 4,0%
	Desc. Cerâmico (DC)		< 37,1%
Nível 3 – Degradação moderada	Falha de Rejunte (FR)	3	> 9,0%
	Eflorescência (EF)		> 1,5%
	Falha de Vedação (FV)		> 8,1%
	Fissuração (FI)		4,0% < x < 6,1%
	Desc. Cerâmico (DC)		37,1% < x < 49,1%
Nível 4 – Degradação generalizada	Fissuração (FI)	4	> 6,1%
	Desc. Cerâmico (DC)		> 49,1%

No estudo de Silva (2014), o  $k_{m\acute{a}x}$  equivale a uma constante do nível de pior condição ( $k_{m\acute{a}x} = 4,00$ ), porém para que esta constante represente à totalidade da fachada degradada com o maior nível de gravidade possível, para o presente estudo faz-se necessário que esta área de referência contemple a soma dos  $k_{m\acute{a}x}$  (BORDALO *et al.*, 2010; SILVA ,2009; SILVA *et al.*, 2011a)

### 3.4.2 FGD<sub>B</sub> – Fator Geral de Danos adaptado para as regiões

Pretende-se também, no presente estudo, desenvolver modelos de curvas de evolução de danos que verifiquem a sensibilidade dos danos que ocorrem nas regiões que compõem as fachadas. Nesse sentido, insere-se no FGD<sub>A</sub> um fator que pondere a degradação em função da região em que se encontra o dano. Busca-se com essa nova ponderação medir a área degradada (Ad), ponderar em relação à gravidade da anomalia (kn<sub>A</sub>), associar a importância relativa do tipo de anomalia (K<sub>cn</sub>) e associar ainda à região em que a anomalia ocorre (k<sub>r</sub>).

Este fator denominado k<sub>r</sub>, é uma variável adimensional determinada através dos estudos de FD<sub>RC</sub>, que consideram o valor característico (80%) de cada região equivalente a 80% da frequência de ocorrência dos eventos (ver Tabela 4.10). O k<sub>r</sub> é obtido em função da proporção do maior valor característico (80%) da região (valor característico (80%) de Transição entre Pavimentos = 0,043). Para esclarecimento da obtenção da variável k<sub>r</sub>, a Tabela 3.3 mostra os valores característicos (80%) de cada região, obtidos neste estudo, e o seu respectivo valor de proporção.

Tabela 3.3 – Valores de k<sub>r</sub> para cada região.

Região	Valor característico (80%) (FD <sub>RC</sub> )	k <sub>r</sub>
Paredes Contínuas (PC)	0,029	0,68
Aberturas (AB)	0,021	0,50
Sacadas (SC)	0,012	0,28
Cantos e Extremidades (CE)	0,032	0,75
Transição entre Pavimentos (TP)	0,043	1,00
Topo (TO)	0,029	0,67

A adaptação da metodologia para as regiões é denominada FGD<sub>B</sub> e é calculado conforme expresso na Equação 3.6.

$$FGD_B = \frac{\sum(A_{dr(n)} \times k_{nA} \times k_{cn} \times k_r)}{A_t \times \sum k_{máx}} \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

$Ad_{r(n)}$ : área danificada por uma anomalia  $n$  ( $m^2$ ) em determinada região ( $r$ );  
 $kn_A$ : constante de ponderação das anomalias  $n$ , em função do nível de condição, onde  $kn_A \in \{1,2,3,4\}$ ;  
 $k_{c(n)}$ : constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas;  
 $k_r$ : constante de ponderação da importância das regiões  $r$ ;  
 $\sum k_{máx}$ : somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição – toma o valor 17 ( $4 + 4 + 3 + 3 + 3$ ) – (anomalias consideradas: descolamento cerâmico, fissuração, falha de rejunte, eflorescência e falha de vedação);  
 $A_t$ : Área total da amostra de fachada ( $m^2$ ).

Diante do exposto neste capítulo, a metodologia consiste em estabelecer critérios de quantificação de danos, bem como a sistematização de informações, e propõe uma adaptação da formulação do FGD, de forma a consolidar e aprimorar a metodologia.

### **3.5 ESTUDO PILOTO**

Como forma de analisar mais detalhadamente o impacto da ponderação relativa entre anomalias e as regiões sobre os indicadores de degradação dos revestimentos cerâmicos, recorreu-se a análise comparativa, simulando diferentes situações de degradação.

O objetivo da simulação foi verificar situações mais e menos críticas, por meio da transição entre níveis de condições ( $kn$ ). Intencionalmente os dados de entrada foram inseridos de maneira a alterar os níveis de condição para cada simulação e também a região em que as anomalias se encontram, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Descrição do nível de condição das anomalias e do percentual de área de degradada das regiões das simulações.

	Nível de condição (kn)					% de área degradada da região						Área afetada(%) (FD)
	DC	FI	FR	EF	FV	PC	AB	SC	CE	TP	TO	
Simulação 01	4	4	3	3	3	0,46	0,20	0,13	0,10	0,04	0,05	0,98
Simulação 02	4	3	3	3	3	0,39	0,13	0,13	0,10	0,04	0,05	0,84
Simulação 03	4	2	3	3	3	0,37	0,13	0,13	0,10	0,04	0,05	0,82
Simulação 04	3	4	3	3	3	0,46	0,20	0,03	0,10	0,04	0,05	0,88
Simulação 05	3	3	3	3	3	0,39	0,13	0,03	0,10	0,04	0,05	0,74
Simulação 06	3	2	3	3	3	0,37	0,13	0,03	0,10	0,04	0,05	0,72
Simulação 07	2	4	3	3	3	0,23	0,20	0,03	0,00	0,02	0,05	0,53
Simulação 08	2	3	3	3	3	0,16	0,13	0,03	0,00	0,02	0,05	0,39
Simulação 09	2	2	3	3	3	0,14	0,13	0,03	0,00	0,02	0,05	0,37
Simulação 10	2	2	1	1	1	0,07	0,08	0,01	0,00	0,02	0,01	0,19
Simulação 11*	4	4	3	3	3	0,38	0,20	0,13	0,10	0,12	0,05	0,98
Simulação 12*	4	4	3	3	3	0,36	0,20	0,23	0,10	0,04	0,05	0,98

\* Alteração da área degradada das regiões considerada na simulação 01.

O percentual de área afetada (FD) equivale ao somatório das áreas das regiões afetadas. Na primeira simulação foram consideradas áreas de degradação que classificaram as anomalias em situações extremas de degradação, ou seja, classificando as anomalias no pior nível de condição possível (DC = 4, FI = 4, FR = 3, EF = 3, FV = 3). Nas simulações seguintes a área degradada é reduzida, de maneira a diminuir o nível de condição das fissuras e dos descolamentos cerâmicos. A décima simulação considerou os níveis mínimos de condição das anomalias (DC = 2, FI = 2, FR = 1, EF = 1, FV = 1). As duas últimas simulações são reaplicações da simulação 01, porém alterando a região em que se encontram as áreas danificadas, por exemplo, a simulação 11 possui o mesmo percentual e o mesmo níveis de condição das anomalias que a simulação 01, porém houve uma redução de 8% da degradação em Paredes Contínuas e um aumento de 8% na região de Transição entre Pavimentos.

A Figura 3.7 ilustra a relação dos resultados dos indicadores de degradação, FD x FGD<sub>A</sub>, à esquerda de FGD<sub>B</sub>, à direita, para as simulações realizadas.

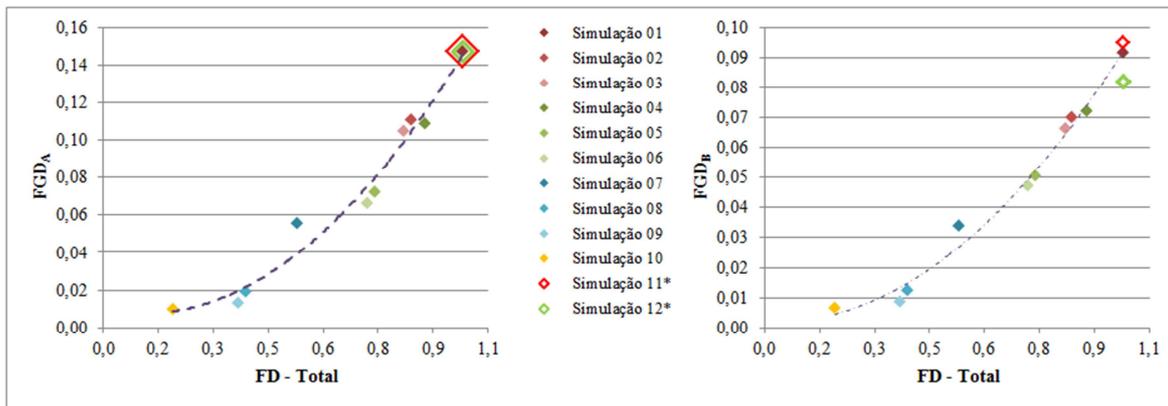


Figura 3.7 – Relação dos resultados dos indicadores de degradação.

Na Figura 3.6, as cores indicam o nível de condição do Descolamento Cerâmico (vermelho:  $kn_A = 4$ ; verde:  $kn_A = 3$ ; azul:  $kn_A = 2$ ) e a variação de intensidade da cor indica a redução do nível de condição de Fissuração (escuro:  $kn_A = 4$ ; médio:  $kn_A = 3$ ; claro:  $kn_A = 2$ ). Os níveis de condição das anomalias de Falha de Rejunte, Eflorescência e Falha de Vedação são constantes, exceto na Simulação 10, que considera os níveis mínimos de todas as anomalias. As simulações 11 e 12 possuem o percentual de área degradada das anomalias iguais à simulação 01, porém na simulação 11 a degradação de Paredes Contínuas foi reduzida em 8% e aumentada em 8% em Transição entre Pavimentos e na simulação 12 a degradação de Paredes Contínuas foi reduzida em 10% e aumentada em 10% em Sacadas.

Os valores de extremo superior e inferior permitem análise de uma sensibilidade da ordem de grandeza dos indicadores de degradação. Em uma extrema condição de degradação os indicadores de degradação  $FGD_A$  e  $FGD_B$  apresentaram valores iguais a 0,147 e 0,092, ou seja, valores próximos ou superiores a estes indicam uma degradação crítica. Os menores valores de  $FGD_A$  e  $FGD_B$ , das simulações realizadas, foram iguais a 0,10 e 0,07, indicando que valores próximos ou inferiores a estes há uma degradação amena e pontual. Nota-se que os resultados de  $FGD_B$  são inferiores ao de  $FGD_A$ , devido a ponderação das regiões sobre o indicador de  $FGD_A$ .

As simulações 1, 11 e 12 apresentam o mesmo percentual de degradação ( $FD = 0,98$ ) e o mesmo nível de condição das anomalias, e conseqüentemente apresentam resultados de  $FGD_A$  idênticos, porém não apresentam os mesmos resultados de  $FGD_B$ . Os diferentes resultados de  $FGD_B$  para as simulações 11 e 12 se deve à diferença da região em que se

encontra as anomalias. Os resultados obtidos do estudo piloto permitiu avaliação da aplicabilidade dos métodos de previsão da vida útil em fachadas utilizadas neste estudo, além também de verificar a precisão destes modelos.

### **3.6 ANÁLISE DE DADOS**

Apesar dos diversos estudos sobre degradação de fachadas, ainda existem lacunas quanto ao conhecimento do processo de degradação. As anomalias nas fachadas ocorrem principalmente devido às falhas de projeto, execução, ausência de manutenções, utilização inadequada, ações mecânicas ou ainda devido às condições de exposição ambiental e biológica. Este estudo busca investigar os efeitos dos fatores de degradação, associados aos agentes climáticos e configuração da fachada, no processo de degradação.

As condições fixas de análise, representados pelos dados de entrada, foram faixa de idade, orientação cardinal, elemento de arquitetura e região da fachada e como resposta é obtido os comportamentos e as tendências para o  $FD_{Total}$ ,  $FD_{RC}$  e FGD.

Desta forma, os resultados são conduzidos de forma a compreender como o processo de degradação evolui ao longo do tempo, como a exposição das fachadas aos agentes climáticos (caracterizados pela orientação cardinal) influencia no processo de degradação, como se apresentam as degradações nos diferentes elementos de arquitetura e por fim identificar quais as regiões mais degradadas da fachada e quais os principais aspectos predisponentes para a distribuição da degradação nas fachadas.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados dos índices de degradação abordados neste estudo são apresentados e discutidos em duas vertentes:

- i. Análise do FD - consiste na apresentação dos resultados da incidência de ocorrência das anomalias, tanto na amostra da fachada como um todo ( $FD_{Total}$ ) quanto nas regiões das fachadas (Fator de Danos das Regiões –  $FD_{RC}$ );
- ii. Análise da gravidade de degradação na fachada - consiste na análise da gravidade de degradação, através do  $FGD_A$  e  $FGD_B$ , assim permitindo estabelecer um modelo universal da degradação ao longo do tempo das fachadas com revestimento cerâmico.

### 4.1 ANÁLISE DO FATOR DE DANOS (FD)

O FD avalia extensão dos danos em função da área total amostrada, por conseguinte é um parâmetro inicial do estudo, pois este não considera a influência da importância de cada tipo de anomalia no fenômeno de degradação.

Com os resultados de  $FD_{Total}$ , obtidos a partir do banco de dados, analisou-se o comportamento da degradação em função do tempo, orientação cardinal e elemento de arquitetura. E posteriormente, foi realizada uma análise da degradação nas diferentes regiões da fachada.

#### 4.1.1 Comportamento da degradação ao longo do tempo

Com base nos dados relativos à idade das fachadas dos edifícios e a mensuração de degradação destas, foi possível verificar o comportamento da degradação ao longo do tempo, exposto na Figura 4.1. O FD, como dito anteriormente, é a extensão de cada anomalia em função da área total amostrada e o somatório de FD das diferentes anomalias equivale ao Fator de Dano Total ( $FD_{Total}$ ).

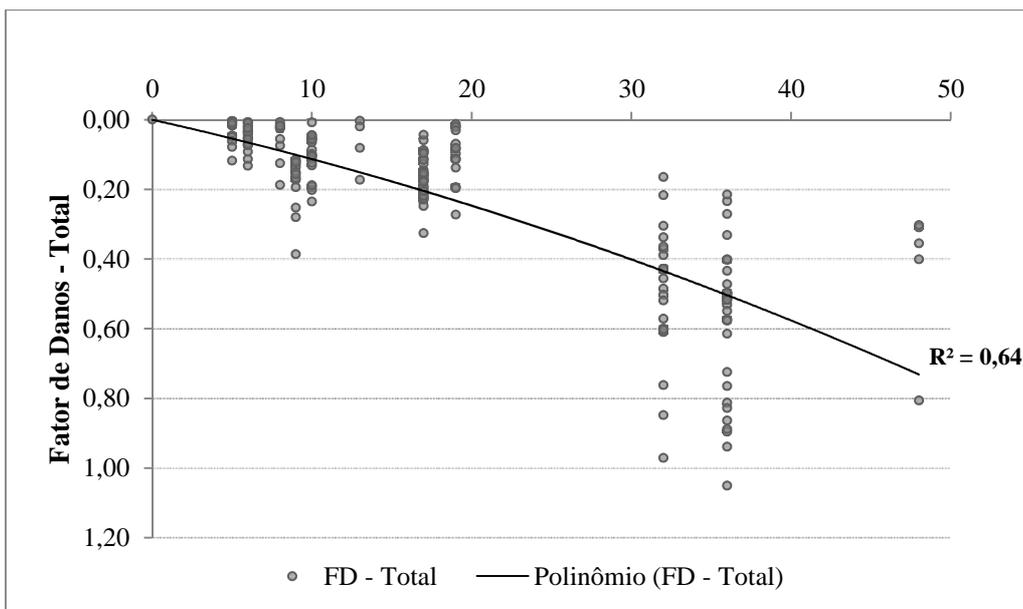


Figura 4.1 – Curva de degradação do Fator de Dano – Total em função da idade, considerando todas as anomalias estudadas (DC, FI, FR, EF e FV).

Observa-se, na Figura 4.1, que o comportamento da degradação é evolutivo, ou seja, o FD.Total aumenta ao longo do tempo. Nota-se também que nas idades até 15 anos ocorre um processo de degradação lento com valores menores que as idades superiores a 25 anos, que apresentam um processo de degradação mais intenso.

Anselmo (2012) e Silva, Bauer e Castro (2014) afirmam que os danos apresentados em edifícios com idades jovens, se não tratados, podem evoluir para processos progressivos de degradação em idades mais avançadas. Observa-se o comportamento da degradação caracterizada por uma curva convexa (Tabela 2.3), cuja ação da degradação se inicia de forma lenta e, devido ao fato de esses fenômenos serem cumulativos e progressivos, o processo é acelerado atingindo um limite crítico nas maiores idades. É importante dizer que o ajuste da curva de degradação é feita pelo tipo polinomial, pois o presente estudo segue os estudos apresentados na Tabela 2.4.

Conforme constata-se na Figura 4.1, a elevada dispersão dos resultados se deve à complexidade do estudo de degradação, bem como a assimetria da dispersão, por exemplo, usado a curva de tendência como eixo de simetria, os resultados de degradação da fachada Norte de um edifício não são refletidos ou espelhados para a fachada Sul. O fato de um mesmo edifício apresentar mão-de-obra diferenciada, orientações cardeais distintas,

diferentes elementos de arquitetura e exposições diferenciadas aos agentes degradantes, esclarece, muitas vezes, a variação dos resultados dos índices de degradação. Contudo, a curva de degradação apresentada na Figura 4.1 representa o processo de degradação esperado para estas fachadas.

Pela análise da curva de tendência, apresentada na Figura 4.1, constatou-se a grande dispersão de amostras, que é ampliada à medida que a idade aumenta. Verificou-se também, que existe um aumento gradual do valor mínimo registado para as idades superiores 25 anos.

A Figura 4.2 mostra os resultados de  $FD_{Total}$  nas suas tendências de frequência de ocorrência, independentemente de idade, assim permitindo uma visão geral da variação de um conjunto de dados.

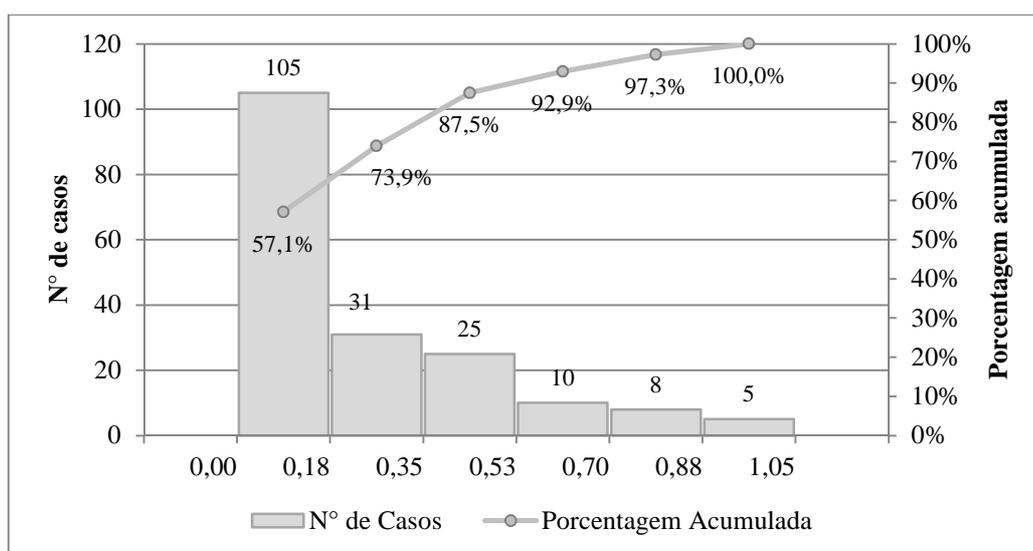


Figura 4.2 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 184 amostras que compõem o universo de estudo.

Observa-se, na Figura 4.2 que há uma elevada frequência nos valores menores, ou seja, dos 184 casos observados 57,1% possuem valores de  $FD_{Total}$  inferior a 0,18. Nota-se também uma diminuição de frequência de ocorrência à medida que aumenta o valor de  $FD_{Total}$ . As elevadas frequências de ocorrência nas primeiras classes provam a importância destas classes, pois 87,5% dos casos possuem  $FD_{Total}$  inferior a 0,53.

Há uma disparidade da frequência de ocorrência dos valores de  $FD_{Total}$ , pois o número de casos que ocorrem com valores de extremos superior (classe 5 e classe 6) é muito inferior a ocorrência de valores de extremos inferior (classe 1). O comportamento da distribuição de frequência de ocorrência tende à uma curva assíntota, ou seja, os valores decrescem e à medida que aumenta o valor de  $FD_{Total}$  eles se aproximam. Observa-se, na Figura 4.2, que as três primeiras classes são representativas para o processo de degradação das fachadas, e uma vez que a frequência de ocorrência associa-se com a probabilidade de ocorrer, adota-se como valor característico (80%) o valor correspondente à frequência de ocorrência de 80%. Ressalta-se que a média e a mediana não são representativas, pois estas estão presentes na primeira classe do histograma, e podem particularizar a degradação de forma equivocada.

Notam-se três aglomerações de amostras na Figura 4.1, à vista disso e por ser uma componente do banco de dados, o universo de estudo foi subdividido em três faixas de idades: Faixa 1 (menor que 15 anos), Faixa 2 (entre 15 e 25 anos) e Faixa 3 (maior que 25 anos). Inicialmente, a análise destas faixas de idade é baseada na Tabela 4.1, onde são apresentados os dados estatísticos destas, bem como os dados estatísticos do universo de estudo em geral.

Tabela 4.1 – Dados estatísticos básicos dos valores de  $FD_{Total}$  de todas as amostras e das amostras subdivididas em faixas de idade.

	Geral	Grupo de Idade		
		< 15 anos	Entre 15 e 25 anos	> 25 anos
Quant. de amostras	184	83	44	57
Mínimo	0,00*	0,00*	0,01	0,16
Máximo	1,05	0,39	0,33	1,05
Média	0,24	0,08	0,15	0,53
Mediana	0,15	0,06	0,15	0,50
Valor característico (80%)	0,43	0,13	0,21	0,75
Valor característico (90%)	0,58	0,18	0,23	0,85
Desvio Padrão	0,24	0,07	0,07	0,21
Variância	0,06	0,01	0,01	0,04
Coef. Variação	1,01	0,89	0,49	0,39
Erro Padrão	0,02	0,01	0,01	0,03

\*Não foram contabilizadas as amostras que não apresentaram danos, portanto, estes são valores próximos de zero.

A Tabela 4.1 mostra que o valor médio de  $FD_{Total}$  de todas as amostras é igual a 0,24. Este valor é inferior à média das amostras com idade superior a 25 anos (Faixa 3) e superior ao das amostras com idade inferiores a 25 anos (Faixa 1 e Faixa 2).

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.1, observa-se que, com o avançar da idade dos edifícios, existia uma tendência de aumento no valor mínimo de degradação registrado, indicando que nos edifícios, as fachadas vão ficando mais degradados com o aumento da idade dos mesmos.

O maior valor de  $FD_{Total}$  (1,05) ocorre nas amostras com idades superiores a 25 anos, como esperado. Conforme parâmetro estabelecido anteriormente, o valor característico (80%) das faixas de idade apresenta de forma crescente em função da idade, assim reafirmando que a degradação aumenta ao longo do tempo.

O desvio padrão apresentado na Tabela 4.1 para as Faixas de idade, aponta que quanto maior a idade da fachada, maior o desvio padrão, implicando numa maior dispersão dos

resultados encontrados para os edifícios mais antigos. Essa variabilidade dos valores de  $FD_{Total}$  das amostras pode ser atribuída a dois grandes aspectos: ao microclima, que está associado à chuva dirigida e radiação solar, que em idades maiores os efeitos cumulativos são mais identificáveis, e ao conjunto técnico do edifício, que envolve as particularidades dos edifícios que podem aumentar a sensibilidade à degradação, todavia isso independe da idade.

A variação dos valores de  $FD_{Total}$  das amostras com idades inferiores a 15 anos (Faixa 1), estão apresentados em forma de histograma na Figura 4.3.

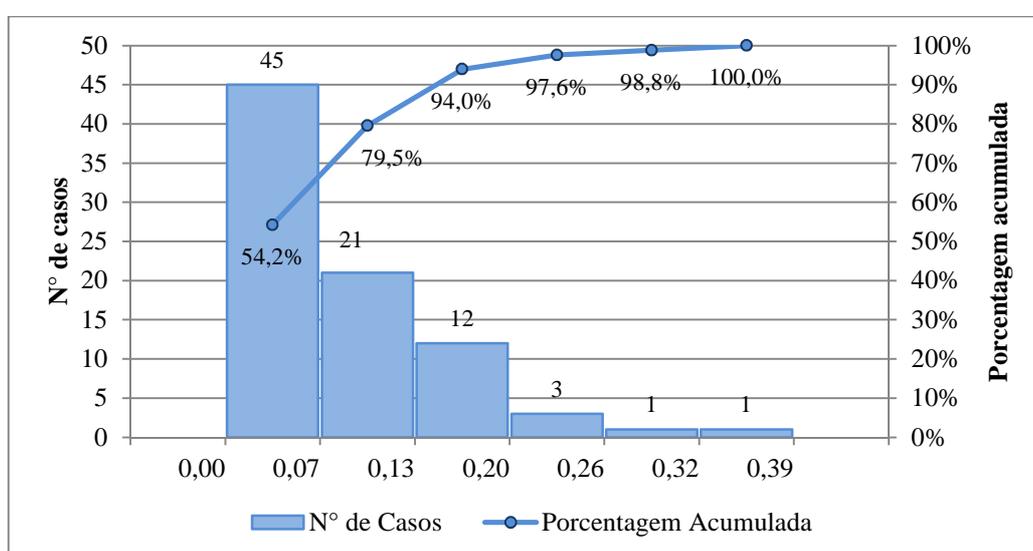


Figura 4.3 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 83 amostras com idades inferiores a 15 anos.

Há uma elevada concentração de amostras com valores de  $FD_{Total}$  nas primeiras classes do histograma das amostras com idade inferior a 15 anos (Figura 4.3). Estes valores caracterizam as amostras da Faixa 1, que variam entre valores próximos de zero e 0,13.

O maior valor apresentado para a Faixa 1, de acordo com a Figura 4.3, é equivalente a 0,39. E, conforme apresentado na Tabela 4.1, este valor é um valor relativamente alto quando comparado com o valor médio da mesma faixa (0,08).

Observa-se ainda que, o maior valor de  $FD_{Total}$  das amostras com idade inferior a 15 anos (0,39) é inferior ao valor característico (80%) das amostras em geral (0,43), o que significa

que quase a totalidade das amostras pertencentes a Faixa 1 estão contidas nas três primeiras classes do histograma apresentado na Figura 4.2.

A distribuição de frequência de ocorrência dos valores de  $FD_{Total}$  para as amostras com idades entre 15 e 25 anos (Faixa 2) estão apresentadas em forma de histograma na Figura 4.4.

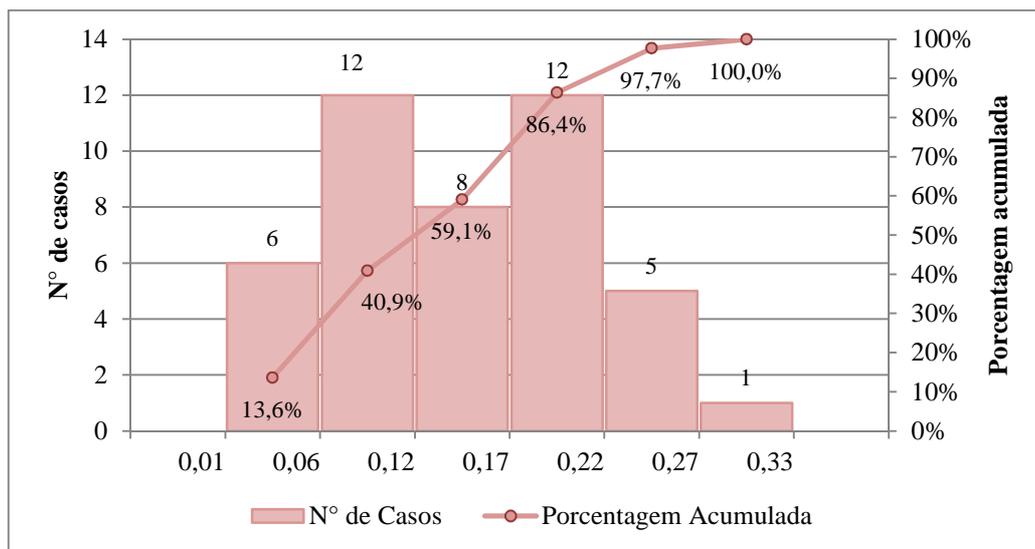


Figura 4.4 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 44 amostras com idades entre 15 e 25 anos.

Nota-se que a distribuição das amostras com idade entre 15 e 25 anos (Faixa 2) não apresentam uma grande concentração de amostras nas primeiras classes, começando então a surgir maiores valores de  $FD_{Total}$  em relação a Faixa 1.

Observa-se também, na Figura 4.4, uma elevada concentração de amostras na segunda, terceira e quarta classe, o que significa que 72,8% das amostras possuem valores de  $FD_{Total}$  entre 0,06 e 0,22. O valor característico de 0,21 a 80% de frequência de acumulada ocorre na Faixa 2 e apresenta-se em uma das classes com elevadas concentrações de casos.

Na Figura 4.5 está apresentada a distribuição de frequência dos valores de  $FD_{Total}$  para a Faixa 3.

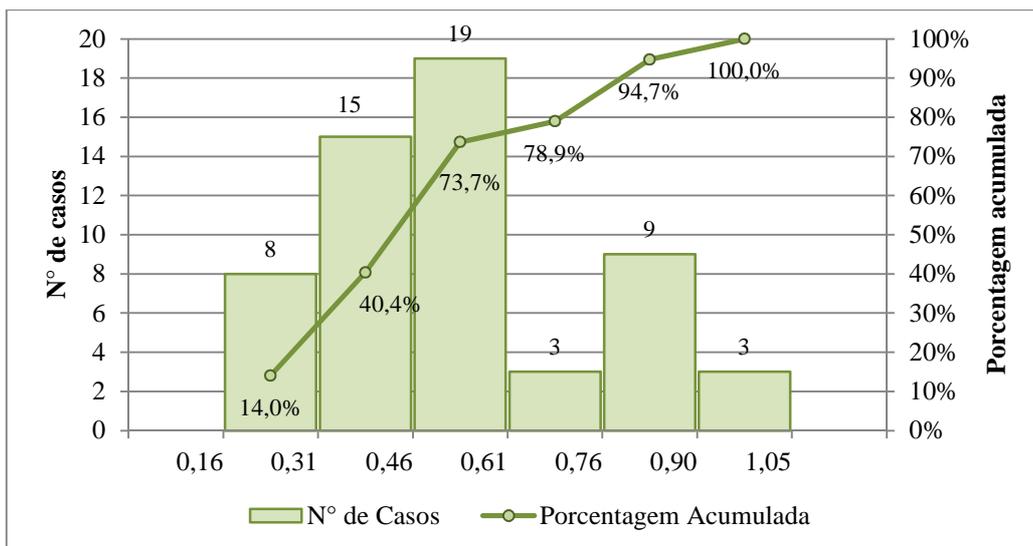


Figura 4.5 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 57 amostras com idades superiores 25 anos.

Observa-se na Figura 4.5, que as amostras com idade superior a 25 anos apresentaram o menor valor de  $FD_{Total}$  igual a 0,16, assim, permitindo reafirmar que os edifícios mais velhos apresentam maiores degradações que os edifícios mais jovens.

As classes que variam entre 0,31 e 0,61 apresentam mais 57,9% das amostras pertencentes a Faixa 3, conforme se observa na Figura 4.5. Porém, apesar de a terceira classe conter maior concentração de casos, o valor característico (80%) da Faixa 3 apresentou-se na quinta classe.

O menor valor de  $FD_{Total}$  das amostras com idades superiores a 25 anos (Faixa 3) é igual a 0,16, subentendendo-se então que pouco menos que a totalidade das amostras pertencentes a Faixa 3 não estão inseridas na primeira classe do histograma apresentado na Figura 4.2.

Também pode ser observado que na Faixa 1 (idades menores que 15 anos) as anomalias tendem a ocorrer com menor extensão (são anomalias pontuais). Quando se passa as Faixas 2 e 3, o efeito da exposição continuada aos agentes de degradação, as anomalias já abrangem maiores áreas, mudando a distribuição, e aumentando a variabilidade (desvio padrão).

Os histogramas são considerados ferramentas que possuem caráter preliminar em qualquer estudo e é um importante indicador da distribuição de dados, porém quando se trata de decisão utiliza-se a análise de variância (ANOVA), verificando se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral).

Os resultados de ANOVA foram obtidos a partir do software STATISTICA 10.0, que gerou tabelas e gráficos. E para a comparação dos valores de  $FD_{Total}$ , a fim de determinar se há diferença significativa entre os diferentes grupos analisados, utilizou o teste de Duncan, que também é obtido pelo mesmo software.

Na análise de variância (ANOVA), como regra de decisão, o valor de  $p$  maior que 0,05 indica que não existe diferença significativa entre os grupos analisados, ou seja, os resultados são provenientes de uma distribuição uniforme e, portanto, equivalentes. O valor de  $p$  menor que 0,05 indica que existe diferença significativa, ou seja, os grupos são diferentes entre si.

Os resultados de ANOVA para as faixas de idades estão apresentados na Tabela 4.2 e na Figura 4.6.

Tabela 4.2 – Resultados da ANOVA em função da faixa de idade.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	$p$
Interseção	11,11257	1	11,11257	642,8608	0,00
Faixa de Idade	7,41349	2	3,70674	214,4346	0,00
Erro	3,12879	181	0,01729		

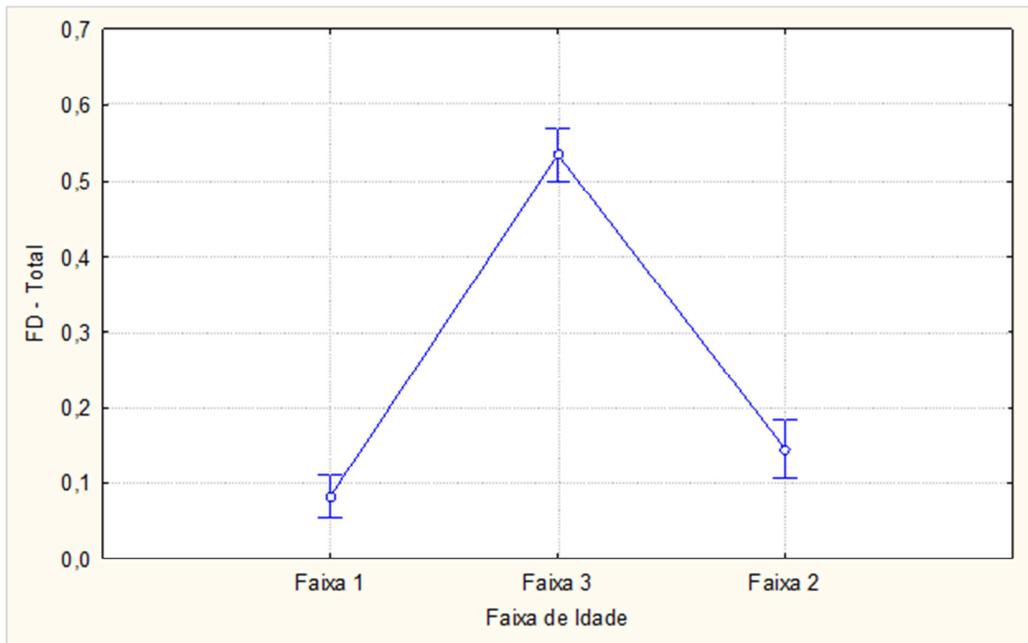


Figura 4.6 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do  $FD_{Total}$  em função da faixa de idade.

O valor de  $p$  obtido através da ANOVA para as amostras em função da idade, conforme Tabela 4.2, é inferior a 0,05, o que indica que há diferenças entre o grupo de idade das amostras. A interpretação é que a idade influencia significativamente. Entre os grupos de idade, a Faixa 3 é que apresenta maior nível de  $FD_{Total}$ .

Interpreta-se que os intervalos de confiança e os níveis do fator com intervalos de confiança que não se sobrepõem são significativamente diferentes. Pode-se então verificar, na Figura 4.6, que existe diferença significativa entre os diferentes grupos de idades. Nota-se também, na Figura 4.6, que ocorre uma maior dispersão nos valores de  $FD_{Total}$  do Grupo 3.

Então, com o intuito de obter algumas informações preliminares a respeito das diferenças entre os efeitos dos níveis de  $FD_{Total}$  para as faixas de idade, realizou-se o teste de Duncan, que é um dos testes mais frequentemente elegidos na experimentação estatística (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Resultados do Teste de Duncan para faixas de idade.

	Faixa de Idade	Média (FD <sub>Total</sub> )	1	2	3
1	Faixa 1	0,082324	****		
2	Faixa 2	0,145293		****	
3	Faixa 3	0,53488			****

Os resultados do Teste de Duncan apresentam em ordem crescente as médias do FD<sub>Total</sub> das diferentes faixas de idade e também nota-se a existência de diferença significativa entre os grupos de idades.

Estes resultados convergem com os resultados apresentado por Silva (2014), que afirma que há diferença significativa entre as amostras com idade inferior a 15 anos e as amostras com idade superior a 25 anos.

Foi realizado também um estudo das anomalias mais comuns ao grupos de análise considerados. À vista disso, a distribuição dos danos nas fachadas para cada faixa de idade está apresentada na Figura 4.7.

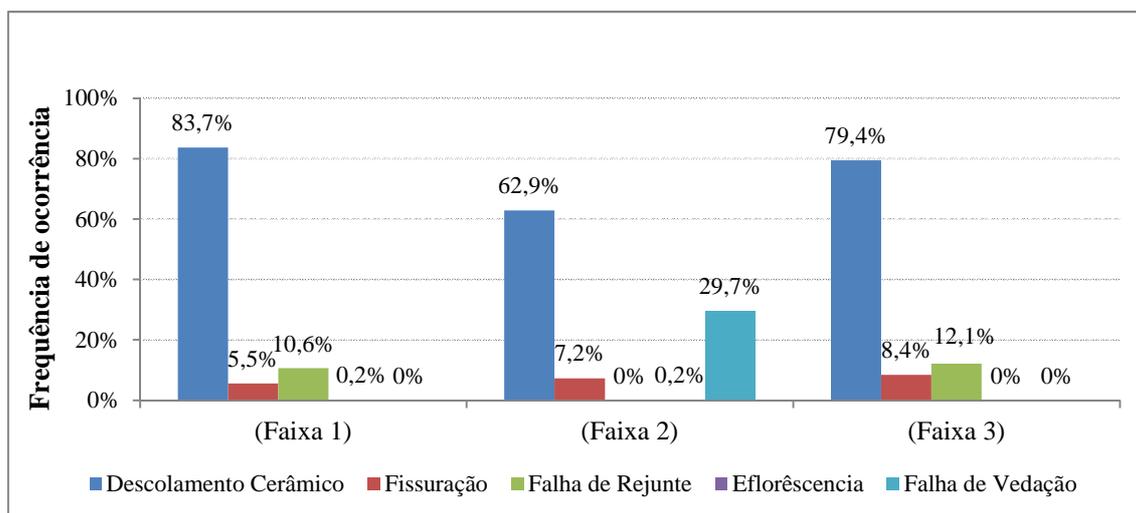


Figura 4.7 – Distribuição de danos em função das faixas de idade.

De todas as anomalias identificadas em todas as faixas de idade observa-se, na Figura 4.7, que os maiores valores são referentes à Descolamento Cerâmico, independentemente da

idade da amostra. O elevado Descolamento Cerâmico apresentado para a Faixa 1, pode ser atribuída a erros de projeto e de execução.

As anomalias de Fissuração, Falha de Rejunte e Eflorescência apresentaram valores relativamente baixos ou até mesmo nulos, assim se tornando anomalias menos correntes em fachadas com sistemas de revestimento cerâmicos.

Destaca-se que a Falha de Vedação só ocorreu nas amostras da Faixa 2. Devido a ausência desta anomalia nas demais faixas de idade, este é um percentual de ocorrência relativamente alto.

É esperado que nas idades iniciais, as fachadas apresentassem apenas anomalias com menor gravidade (FR, EF e FV) e que, com o decorrer dos anos, aparecessem anomalias de FI e DC. No entanto, verificou-se que, mesmo nos edifícios mais jovens, ocorrem simultaneamente os vários tipos de anomalias.

Diante do exposto, os resultados apresentados comprovam a influência da idade ou da faixa de idade das fachadas sobre índice de degradação, FD – Total. O aumento significativo da degradação em função da idade, de maneira global, confirma que o processo de degradação é influenciado pela idade da fachada, quando considerado todos os tipos de anomalias. Deduz-se também que a anomalia mais comum nas fachadas é o Descolamento Cerâmico, independentemente da idade.

#### **4.1.2 Comportamento da degradação para diferentes orientações cardeais**

A análise da influência da exposição aos agentes climáticos, tais como exposição ao sol e a chuva dirigida, foi conduzida pela classificação da orientação cardinal das fachadas, pois os agentes climáticos são dependentes da orientação cardinal. Conforme descrito no capítulo de metodologia, foram consideradas as quatro principais orientações cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste). A fim de investigar o comportamento da degradação ao longo do tempo para cada orientação, foi elaborada a curva apresentada na Figura 4.8. Ressalta-se que esta análise não considera agora as faixas de idade, mas tem como objetivo avaliar a influência das orientações ao longo do tempo. Sendo assim, o universo de estudo foi separado conforme as orientações de cada amostra e suas respectivas idades.

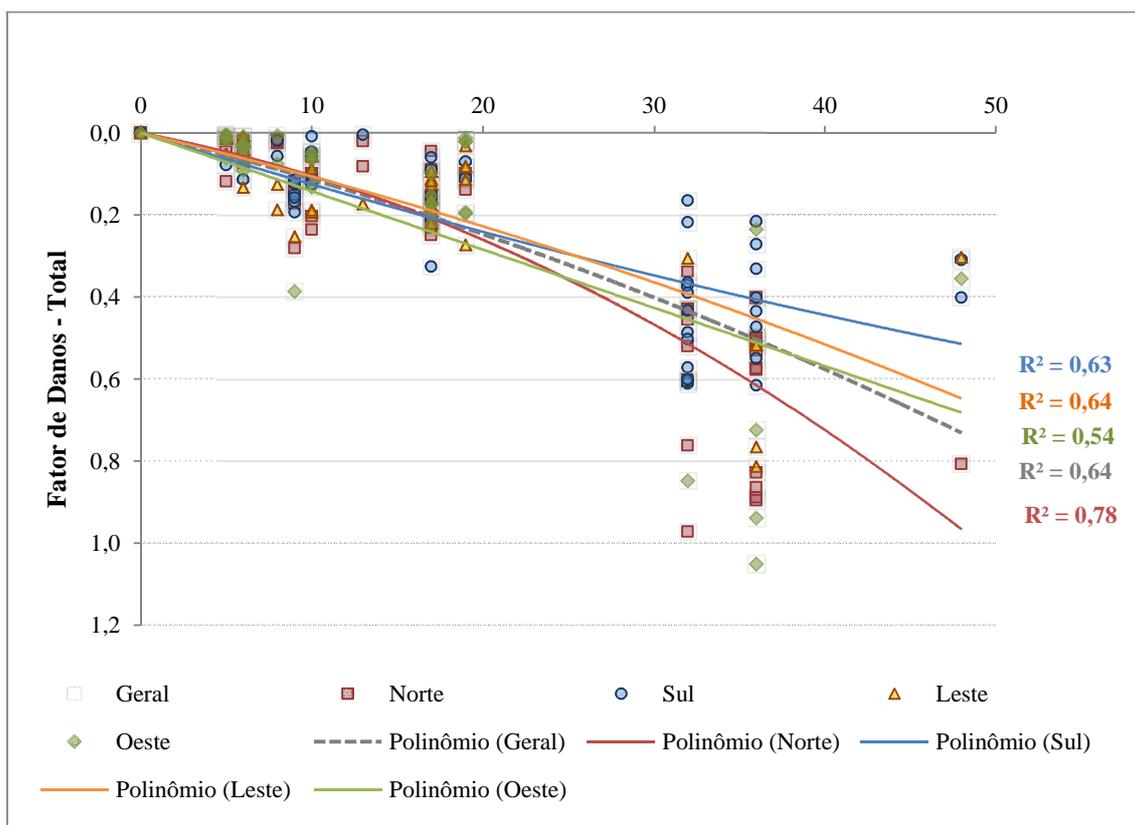


Figura 4.8 – Curva de degradação do  $FD_{Total}$  em função da orientação cardeal.

A linha tracejada na Figura 4.8 representa a curva de degradação geral, considerando todas as amostras independentemente da orientação cardeal desta, ou seja, é a mesma curva apresentada na Figura 4.1, mas foi inserida neste contexto para comparações das orientações cardeais.

Observa-se uma tendência diferente de comportamento para cada orientação, onde as fachadas de orientação Norte tendem a apresentar maiores índices de degradação que as demais orientações. Nota-se também que a curva com melhor representação dos resultados ( $R^2 = 0,78$ ) é a curva referente a orientação Norte, ou seja, aponta que aproximadamente 78,08% das amostras ajustam-se à curva de orientação Norte. As demais orientações apresentaram valores consideráveis de  $R^2$ , quando comparados com outros pesquisadores (Tabela 2.4), porém inferiores ao de orientação Norte.

É importante ressaltar que o comportamento de degradação das orientações muda no decorrer das idades, pois inicialmente não existiam grandes diferenças das orientações,

mas como ao longo dos anos algumas orientações se apresentam mais susceptíveis à degradação que outras. Isso denota o caráter cumulativo das ações sobre o edifício. Com a ausência das solicitações, é possível observar nitidamente que as orientações com maior incidência dos agentes climáticos, particularmente incidência solar, são as mais degradadas (ZANONI, 2015).

A maior inclinação da curva de tendência da orientação Norte permite observar a maior intensidade de degradação desta orientação, ou seja, a degradação é mais acelerada que nas demais orientações. E a inclinação diferenciada da orientação Sul levou a uma menor degradação para esta orientação.

Os dados estatísticos, apresentados na Tabela 4.4, auxiliam na análise da influência das orientações cardeais no processo de degradação.

Tabela 4.4 – Dados estatísticos básicos de  $FD_{Total}$  das amostras em geral e das respectivas orientações.

	Orientação				
	Geral	Norte	Sul	Leste	Oeste
Quant. de amostras	184	54	51	41	38
Mínimo	0,00*	0,01	0,00*	0,01	0,00*
Máximo	1,05	0,97	0,62	0,81	1,05
Média	0,24	0,31	0,24	0,18	0,18
Mediana	0,15	0,20	0,17	0,13	0,07
Valor característico (80%)	0,43	0,52	0,43	0,25	0,21
Valor característico (90%)	0,58	0,79	0,55	0,51	0,49
Desvio Padrão	0,24	0,28	0,19	0,19	0,27
Variância	0,06	0,08	0,04	0,04	0,07
Coef. Variação	1,01	0,90	0,77	1,05	1,47
Erro Padrão	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04

\*Não foram contabilizadas as amostras que não apresentaram danos, portanto, estes são valores próximos de zero.

Observa-se, na Tabela 4.4, que a orientação que apresentam as maiores médias e medianas de  $FD_{Total}$  é a orientação Norte. Porém, apesar desta orientação apresentar maiores médias

e medianas (Tabela 4.4) e também tenderem a possuir maior degradação que as demais orientações, observado na Figura 4.8, o maior valor de pico de  $FD_{Total}$  ocorreu na orientação Oeste. Todavia ao estudar qualquer indicador de tendência (média, mediana e valor característico (80%)), é majoritária a degradação na orientação Norte.

Dentre os valores mínimos, apresentados na Tabela 4.4, o menor valor aconteceu na orientação Sul (0,0038), seguido das orientações Oeste (0,0042), Leste (0,005) e Norte (0,0148). É notória a diferença dos valores mínimos de degradação da orientação Norte com as demais orientações, apontando então a orientação Norte como uma orientação crítica, sob a ótica da degradação.

Observando-se, na Tabela 4.4, o desvio padrão dos índices por orientação, verifica-se que as regiões que apresentam maior dispersão de resultados são as orientações Norte (0,28) e Oeste (0,27). Isso implica que as orientações que tendem a maior degradação, conforme observado na Figura 4.8, são as orientações que apresentam maior dispersão de resultados. Novamente se evidencia que a degradação não é um processo uniforme, mesmo que a amostra de estudo seja homogênea (edifícios similares).

Os resultados de  $FD - Total$  nas suas tendências de frequência de ocorrência estão apresentados na Figura 4.9, de forma a expor uma visão geral da variação do conjunto de dados referentes a orientação Norte.

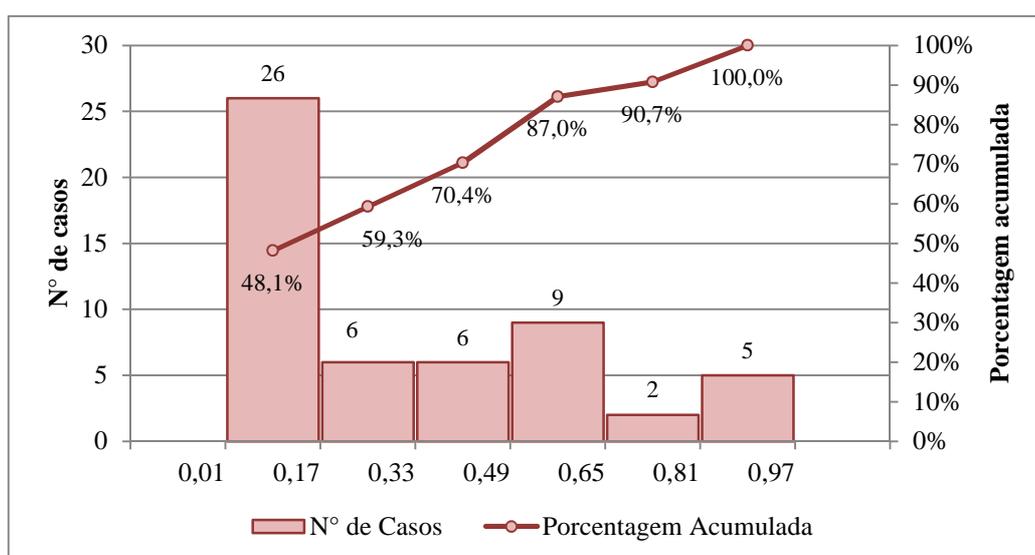


Figura 4.9 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 54 amostras de orientação Norte.

A orientação Norte, em geral, apresentam elevados valores de  $FD_{Total}$ , pois nota-se, na Figura 4.9, que mais de 50% das amostras de orientação Norte possuem valores superiores a 0,17.

Quando há uma distribuição simétrica em torno de um valor (com maior frequência), significa que as observações estão igualmente distribuídas em torno desse valor. Porém, observa-se que a distribuição da frequência de ocorrência da orientação Norte é assimétrica, pois há uma maior concentração nos menores valores de  $FD_{Total}$ .

Baseado no parâmetro de análise, valor característico (80%), as amostras de orientação Norte possuem o valor do parâmetro de análise igual a 0,52, conforme pode-se observar na Tabela 4.4. Este valor é superior ao parâmetro de análise da curva geral (0,43). Salienta-se que a orientação Norte apresenta o valor de  $FD_{Total}$  mais alto conseqüentemente, maior degradação.

Os elevados valores de  $FD - Total$  para a orientação Norte convergem com o estudo de Zanoni (2015), que afirma que há uma tendência da ação dos agentes climatológicos associados à chuva dirigida ser em mais intenso na orientação Norte, pois os ventos predominantes associados à chuva ocorrem nesta orientação.

O efeito da ação dos agentes climatológicos, associados a radiação solar, não possuem forte relação com a orientação cardinal, devido as variações da condição de céu, ao longo do dia. Por exemplo, em um dia nublado a radiação solar é menos intensa que nos dias sem nuvens e também devido aos picos diários de radiação solar na superfície das fachadas variar conforme o dia do ano e a orientação de fachada (FRANCINETE JR *et al.* 20015).

Na Figura 4.10 está apresentada a distribuição de frequência dos valores de  $FD_{Total}$  para a orientação Sul.

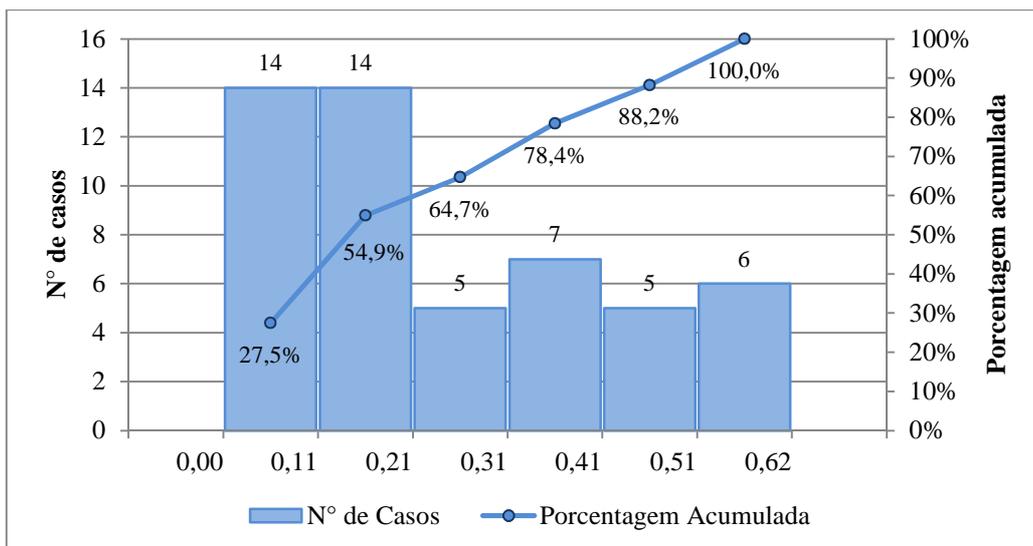


Figura 4.10 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 51 amostras de orientação Sul.

Nota-se na Figura 4.10, uma elevada concentração de casos na primeira e segunda classe, apresentando mais de 50% das amostras com valor de  $FD_{Total}$  inferior a 0,21. Em comparação com o valor característico (80%) das amostras em geral (0,43), índices abaixo de 0,21 são considerados valores relativamente baixos, indicando que a orientação Sul apresenta menores áreas de degradação.

O valor característico (80%) tanto da orientação Sul e quanto de todas as amostras em geral equivalem a 0,43, isso pode indicar uma semelhança do comportamento de degradação. Porém, sabe-se que cada amostra de fachada possui particularidades.

Nota-se que o valor máximo de  $FD_{Total}$  para a orientação Sul é igual a 0,62, indicando então que, de forma geral, as fachadas de orientação Sul apresentam índices de degradação baixos, quando comparado com as demais orientações.

Observa-se uma assimetria na distribuição de frequência de ocorrência da orientação Sul, assim como observado na distribuição de frequência de ocorrência da orientação Norte. Porém na orientação Sul a amplitude (diferença entre o número de casos) é menor. Ressalta-se que o conhecimento da forma da distribuição de frequências de uma variável indicam informações fundamentais sobre o comportamento dessa variável.

A distribuição de frequência de ocorrência dos valores de  $FD_{Total}$  para as amostras com orientação Leste esta apresentada em forma de histograma na Figura 4.11.

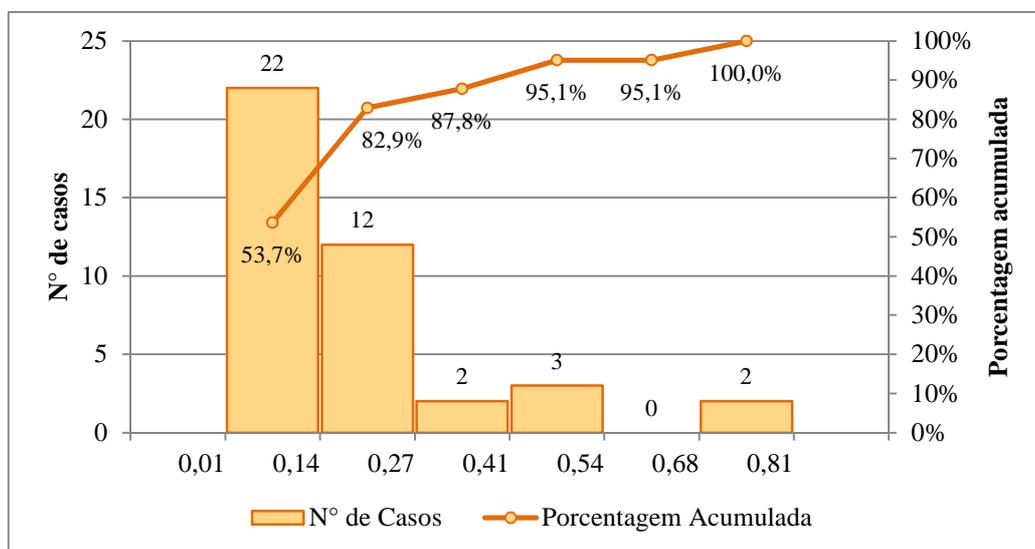


Figura 4.11 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 41 amostras de orientação Leste.

Apesar do valor máximo de  $FD_{Total}$  para a orientação Leste ser igual a 0,81, é notório que esta orientação possui baixos índices de degradação. Pois as amostras que possuem valores de  $FD_{Total}$  inferior a 0,14 representam aproximadamente 53,7% das amostras de orientação Leste, e de 80% dos casos apresentam  $FD_{Total}$  inferior a 0,27.

A ausência de casos entre o intervalo de 0,54 a 0,68 implica que os casos que apresentaram índices maiores que 0,68 são casos pontuais, e que possivelmente a elevada degradação destes casos não está associada à exposição aos agentes climáticos.

A distribuição da frequência de ocorrência das fachadas Leste apresentou um comportamento similar ao da distribuição das amostras em geral, ou seja, os valores de  $FD_{Total}$  concentram-se à esquerda, ou seja, maior ocorrência de valores menores de  $FD_{Total}$ . O estudo de Francinete Jr. *et al.* (2015) apresentou resultados que apontaram valores médios de gradiente de temperatura e da temperatura máxima diária para a orientação Leste. Estes dados permitem caracterizar a orientação Leste como uma orientação que se apresenta pouco degradada.

Na Figura 4.12 está apresentada a distribuição de frequência dos valores de  $FD_{Total}$  para a orientação Oeste.

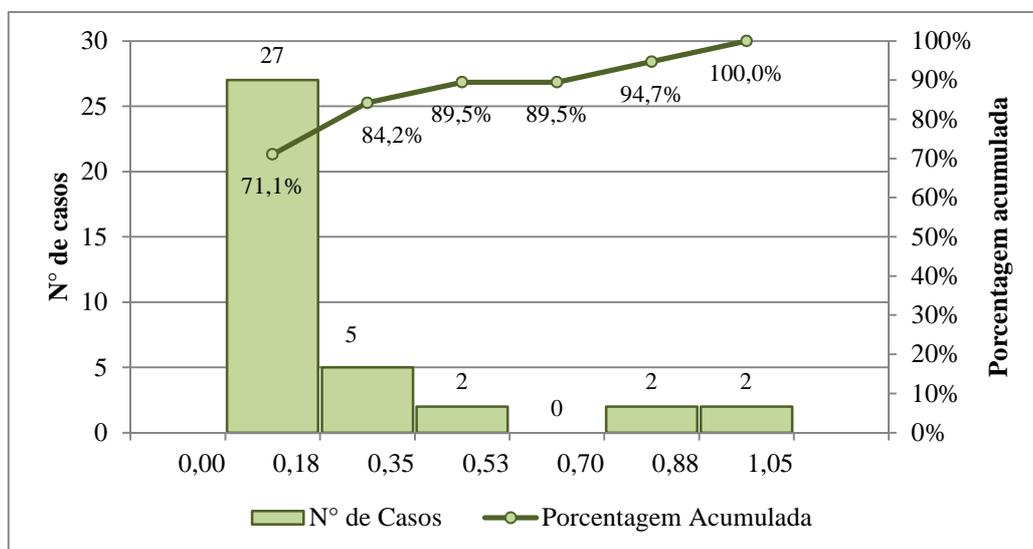


Figura 4.12 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 38 amostras de orientação Oeste.

Apesar de a orientação Oeste possuir o maior valor de  $FD_{Total}$  (1,05), a Figura 4.12 mostra que mais de 70% das amostras possuem valores inferiores a 0,18. Porém, sabe-se que a quantidade de amostras obtidas que representam a orientação Oeste equivale a aproximadamente 20% do total de amostras e destes 38 casos de orientação Oeste apenas 6 casos refere-se a edifícios que possuem idades superiores a 25 anos, conforme pode ser observado na Figura 4.8.

Observa-se que a distribuição da frequência de ocorrência da orientação Oeste é assimétrica, pois há uma maior concentração nos menores valores de  $FD_{Total}$ . A elevada concentração de valores baixos para a orientação Oeste não, necessariamente, implica que esta orientação possui baixa degradação. Pois, conforme Francinete Jr. *et. al* (2015), a orientação Oeste apresenta maior frequência de temperaturas máximas que as demais orientações.

Os resultados de ANOVA para as orientações cardeais estão apresentados na Tabela 4.5 e na Figura 4.13.

Tabela 4.5 – Resultados da ANOVA em função da orientação cardeal.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	p
Interseção	9,55202	1	9,552019	171,8049	0,00
Orientação	0,53462	3	0,178207	3,2053	0,02
Erro	10,00765	180	0,055598		

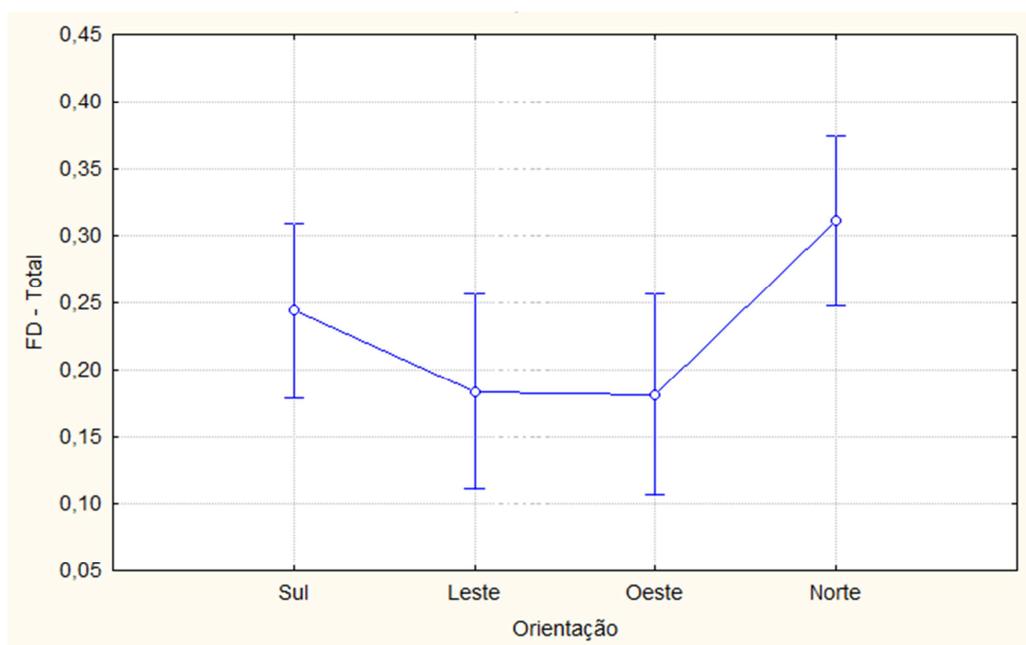


Figura 4.13 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do  $FD_{Total}$  em função da orientação cardeal.

O valor de  $p$  inferior a 0,05, observado na Tabela 4.5, indica a existência de diferença significativa entre as amostras de diferentes orientações.

A partir da Figura 4.13, constata-se que não há grandes diferenças na dispersão dos valores de  $FD_{Total}$  para as orientações. Observa-se que algumas orientações sobrepõem os intervalos de confiança, tais como Leste e Oeste, já as orientações Sul e Norte se comportam distintamente. Ressalta-se que esta análise envolve todas as amostras, ou seja, independente da idade ou do tipo de elemento de arquitetura, dificultando evidenciar a tendência das orientações.

Os resultados do teste de Duncan estão apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resultados do Teste de Duncan para orientações cardeais.

	Orientação	Média (FD <sub>Total</sub> )	1	2
3	Oeste	0,181723	****	
2	Leste	0,183698	****	
1	Sul	0,244274	****	****
4	Norte	0,31146		****

Os resultados de Duncan mostram que os valores de FD<sub>Total</sub> variam para dois diferentes grupos, grupo da orientação Leste, Oeste e Sul e grupo da orientação Sul e Norte. A orientação Sul está presente nos dois grupos, o que implica que esta orientação tem parte do comportamento similar aos da orientação Norte, e também outra parte similar às orientações Leste e Oeste.

Apesar de a ANOVA e do teste de Duncan serem frequentemente utilizado por pesquisadores, os resultados obtidos para a análise do comportamento da degradação em função da orientação cardinal não convergiu com as observações técnicas realizadas (Figura 4.25), pois estas ferramentas utilizam as médias para as comparações entre os grupos, e como foi visto no início deste capítulo, a média não é representativa para o comportamento da degradação.

A distribuição de danos para cada orientação cardinal considerada está ilustrada na Figura 4.14.

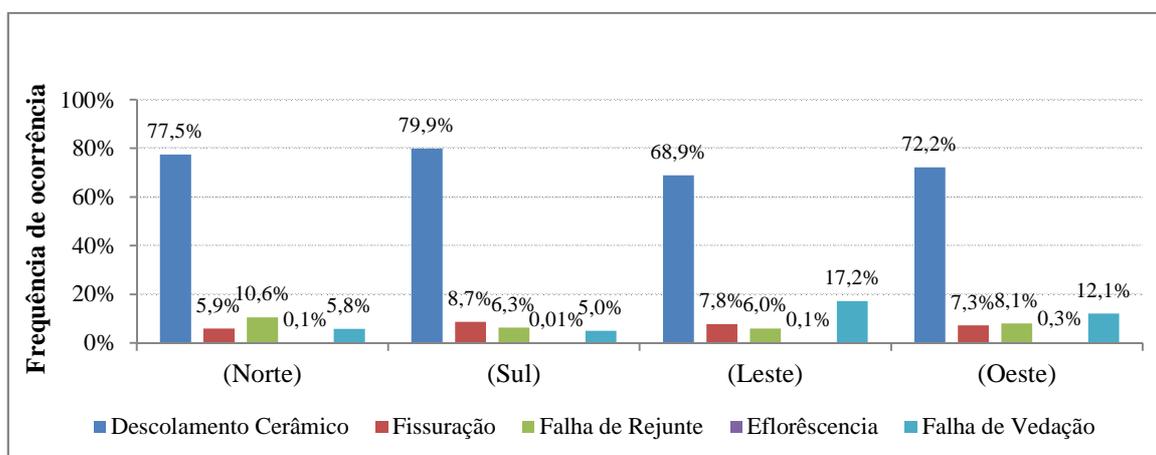


Figura 4.14 – Distribuição de danos em função das orientações.

O total de anomalias identificadas na orientação Norte 77,5% foi Descolamento Cerâmico, 5,9% Fissuração, 10,6% Falha de Rejunte, 0,1% Eflorescência e 5,8% Falha de Rejunte, onde o somatório de anomalias de cada orientação totaliza 100% de área degradada da orientação analisada, e da mesma forma acontece para as demais anomalias.

É nítida a predominância de Descolamento Cerâmico em todas as orientações. Porém destaca-se que a orientação Sul apresentou maior ocorrência relativa de Descolamento Cerâmico. Este fato não implica que esta orientação apresenta maior área de Descolamento Cerâmico, pois os valores apresentados na Figura 4.14 referem-se a distribuição de danos.

Nota-se que todas as anomalias estão presentes em todas as orientações, porém uma com maior ocorrência que outras. Há uma pequena variação do percentual de ocorrência de cada anomalia para cada orientação, exceto para anomalia de Falha de Vedação que apresentou maiores valores para a orientação Leste e Oeste.

Os resultados apresentados, na Figura 4.14, mostra que as anomalias de menor ocorrência (Fissuração, Falha de Rejunte, Eflorescência e Falha de Vedação) possuem menor influencia no processo de degradação do que a anomalia de Descolamento Cerâmico, independentemente da orientação cardinal. Deduz-se então que a orientação cardinal não apresenta uma única anomalia predisponente para a ocorrência da degradação.

Diante os resultados apresentados, os maiores índices de degradação estão concentrados na orientação Norte e Oeste. Este resultado se apresenta coerente com estudos de Silva (2014), que aponta as orientações Oeste e Norte como aquelas que apresentam maior intensidade de degradação, devido à exposição severa aos agentes climáticos.

As orientações cardiais influenciam no processo de degradação e algumas orientações tendem a apresentar maior degradação e tipos específicos de anomalias (MELO JR., 2010). Porém, neste estudo, na amostra pesquisada, não foi possível observar nos resultados que as orientações cardiais influenciam a ocorrência dos diferentes tipos de anomalias, ou seja, os tipos de anomalias correntes nas fachadas não são influenciados pela orientação cardinal. Tendo em vista que os resultados do  $FD_{Total}$  das orientações evidenciam a orientação Norte como a orientação mais susceptível à degradação, observa-se uma nítida a influência da

exposição aos agentes climáticos na degradação da fachada. Conseqüentemente, evidenciando a influência da exposição ao sol, chuva e vento no surgimento das anomalias.

#### 4.1.3 Influência dos elementos de arquitetura no processo de degradação

Os elementos de arquitetura (Fachadas, Empenas e Caixas de Escada) possuem um comportamento diferenciado devido à configuração particular de cada um destes. Em razão disto, o universo de estudo analisado foi dividido em três grupos: Fachadas, Empenas e Caixas de Escada, para avaliação da influência dos elementos de arquitetura no processo de degradação das fachadas.

A influência dos elementos de arquitetura pode ser estudada através da Figura 4.15, que apresenta os resultados de  $FD_{Total}$  para cada elemento de arquitetura em função do tempo.

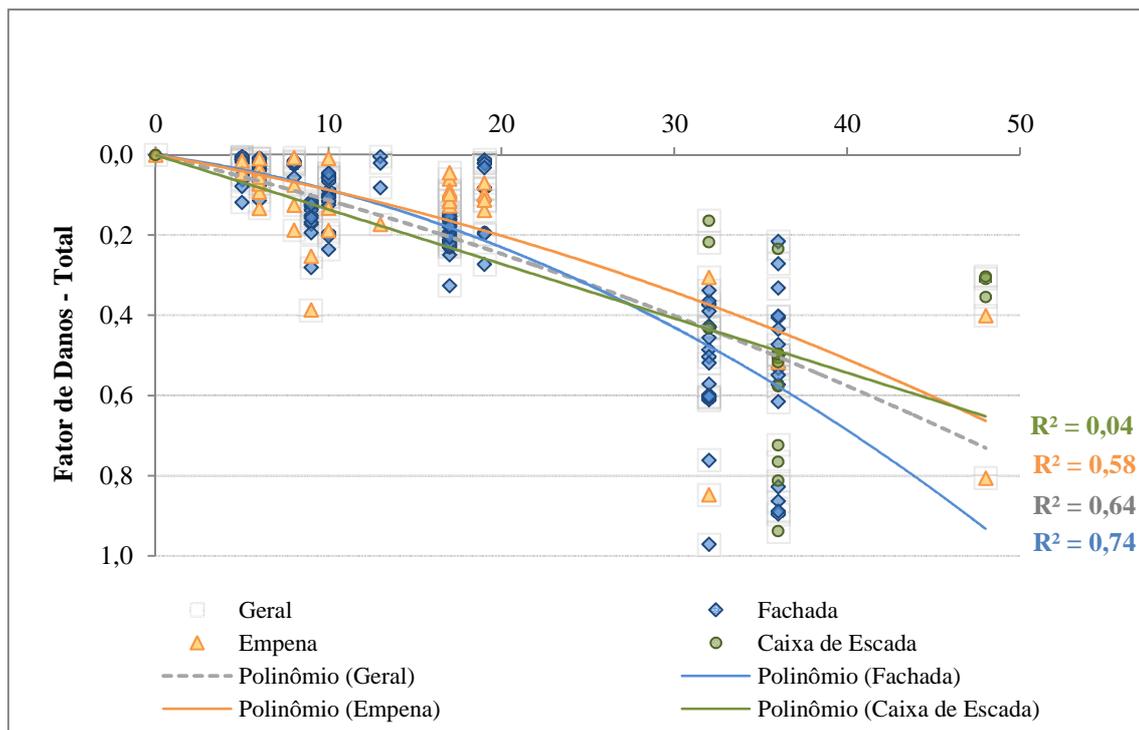


Figura 4.15 – Curva de degradação do  $FD_{Total}$  em função do elemento de arquitetura.

Observa-se na Figura 4.15, que as curvas de tendência das Fachadas e das Empenas nas primeiras idades se sobrepõem, mostrando então que nas idades iniciais a degradação não é afetada pelo tipo de elemento de arquitetura. Porém ao longo do tempo, nota-se que nas

idades mais avançadas (superior a 25 anos) as fachadas tendem a apresentar maior degradação que os demais elementos de arquitetura.

As Fachadas e as Empenas apresentaram um valor de correlação igual 0,74 e 0,58, respectivamente, indicando assim que 74% das fachadas são representadas pela curva de tendência das fachadas e que 58% das Empenas são representadas pela curva de tendência das Empenas. Já as Caixas de Escada apresentaram um valor de correção baixíssimo (0,04). A variação dos valores de correlação ( $R^2$ ) dos diferentes elementos de arquitetura deve-se ao número de quantidade de amostras para cada uma delas. Destaca-se as Caixas de Escada que estão presentes apenas nos edifícios com idade superior a 25 anos.

Para melhor compreensão do comportamento da degradação em função dos elementos de arquitetura, apresentam-se na Tabela 4.7 os dados básicos de estatística obtidos para o valor de  $FD_{Total}$ .

Tabela 4.7 – Dados estatísticos básicos dos valores de  $FD_{Total}$  de todas as amostras e dos elementos de arquitetura.

	Elemento de arquitetura			
	Geral	Fachada	Empena	Caixa de Escada
Quant. de amostras	184	128	38	18
Mínimo	0,00*	0,00*	0,01	0,16
Máximo	1,05	0,97	0,85	1,05
Média	0,24	0,22	0,16	0,52
Mediana	0,15	0,15	0,10	0,50
Valor característico (80%)	0,43	0,40	0,19	0,75
Valor característico (90%)	0,58	0,56	0,39	0,85
Desvio Padrão	0,24	0,22	0,19	0,25
Variância	0,06	0,05	0,04	0,06
Coef. Variação	1,01	1,02	1,18	0,48
Erro Padrão	0,02	0,02	0,03	0,06

\*Não foram contabilizadas as amostras que não apresentaram danos, portanto, estes são valores próximos de zero.

Nota-se que aproximadamente 70% das amostras estudadas são fachadas, e que as Empenas e Caixas de Escada constituem, respectivamente, apenas 20% e 9% do universo de estudo.

Apesar da tendência encontrada na Figura 4.15, colocando as fachadas como o elemento de arquitetura mais degradado, a Tabela 4.7 mostra que os maiores valores dos dados estatísticos apresentados ocorrem nas Caixas de Escada. Estes valores altos das Caixas de Escada, apresentados na Tabela 4.7, ocorrem devido a estes elementos de arquitetura estarem presentes apenas nos edifícios com idades superiores a 25 anos, assim apresentando índices de degradação elevados.

O desvio padrão apresentado, na Tabela 4.7, para os diferentes elementos de arquitetura não apresentaram grandes variações, indicando então que a dispersão dos índices de degradação independe do elemento de arquitetura, considerando as características das amostras estudadas.

A Figura 4.16 mostra os resultados de  $FD_{Total}$  das frequências de ocorrência para as fachadas, de forma a verificar como ocorre a variação deste conjunto de dados.

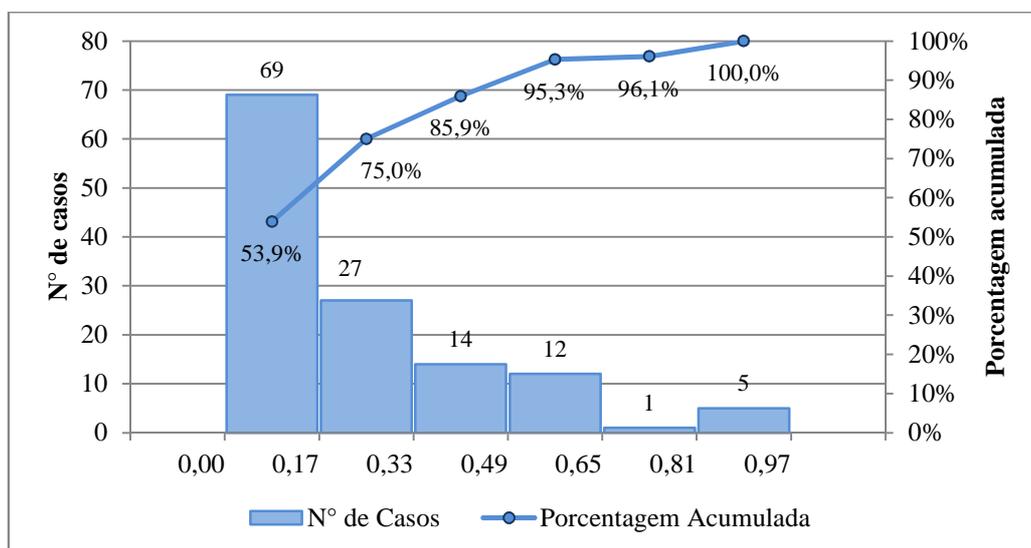


Figura 4.16 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 128 amostras referente às fachadas.

Apesar das fachadas apresentarem índices de degradação elevados, observa-se na Figura 4.16 que mais de 50% dos casos referentes às fachadas apresentam valores de  $FD_{Total}$  inferior a 0,17. Nota-se também que menos de 15% das fachadas apresentam  $FD_{Total}$  maior que 0,49.

Na Figura 4.17 está apresentada a distribuição de frequência dos valores de  $FD_{Total}$  para os elementos de arquitetura referentes às Empenas.

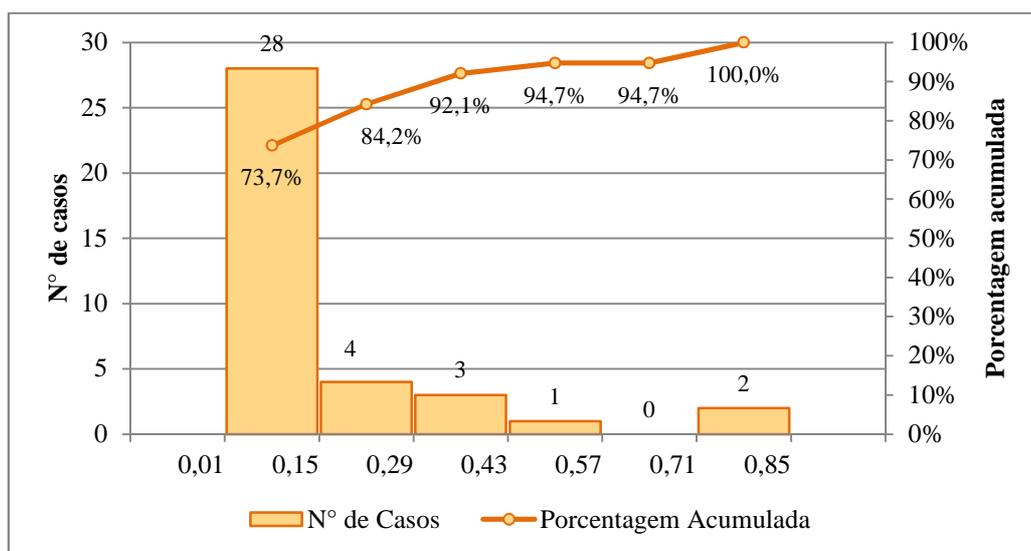


Figura 4.17 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 38 amostras referente às Empenas.

Há uma elevada concentração de amostras na primeira classe do histograma das Empenas, onde pode-se observar que mais de 70% das amostras possuem índices de degradação inferior a 0,15. Valor este considerado baixo, visto que o valor característico (80%) equivale a 0,43 (Tabela 4.7). Nota-se também que o maior valor de  $FD_{Total}$  para as Empenas é equivalente a 0,85.

A distribuição de frequência de ocorrência dos valores de  $FD_{Total}$  para as amostras referentes às Caixas de Escada estão apresentadas, na Figura 4.18, em forma de histograma.

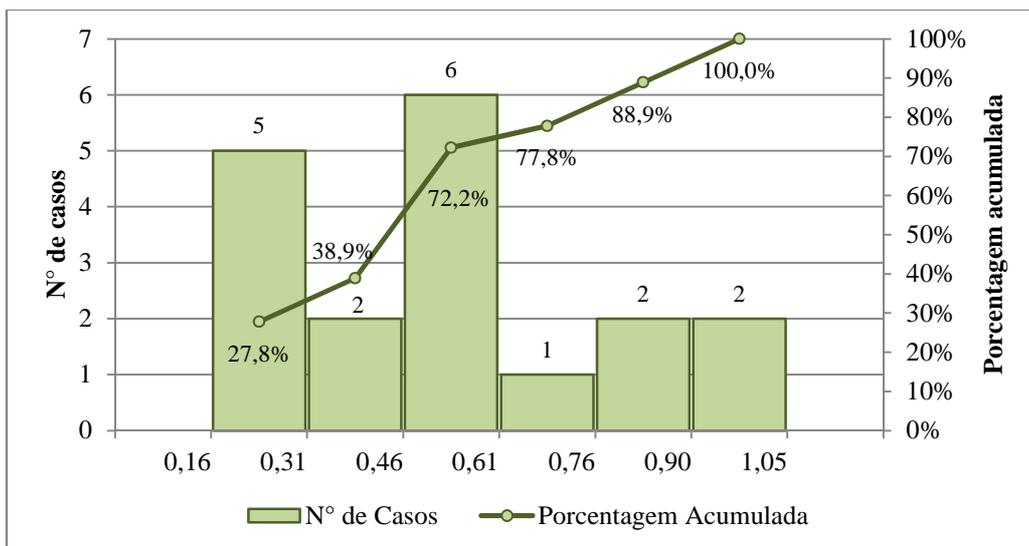


Figura 4.18 – Histograma de frequência de ocorrência e percentagem acumulada do  $FD_{Total}$  das 18 amostras referente às Caixas de Escada.

Há uma elevada concentração de casos presentes no intervalo da primeira e terceira classe do histograma apresentado na Figura 4.18, assim diferenciando-se um pouco da tendência dos demais elementos de arquitetura. Em comparação com as fachadas e as Empenas, nota-se uma distribuição mais regular das amostras referentes às Caixas de Escada.

O maior valor de  $FD_{Total}$  para as amostras referentes a Caixas de Escada é igual a 1,05, conforme pode ser observado na Figura 4.18. E apenas 27,8% das amostras possuem valores de  $FD_{Total}$  inferiores a 0,31, o que evidencia que as Caixas de Escada, em geral, possuem elevados valores de  $FD_{Total}$ , ou seja, maiores áreas degradadas.

Na Tabela 4.8 e na Figura 4.19 estão apresentados os resultados da ANOVA para os valores de  $FD_{Total}$  em função do elemento de arquitetura.

Tabela 4.8 – Resultados da ANOVA em função do elemento de arquitetura.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	p
Interseção	9,147682	1	9,147682	187,4526	0,00
Elemento de arquitetura	1,709481	2	0,85474	17,5152	0,00
Erro	8,832794	181	0,0488		

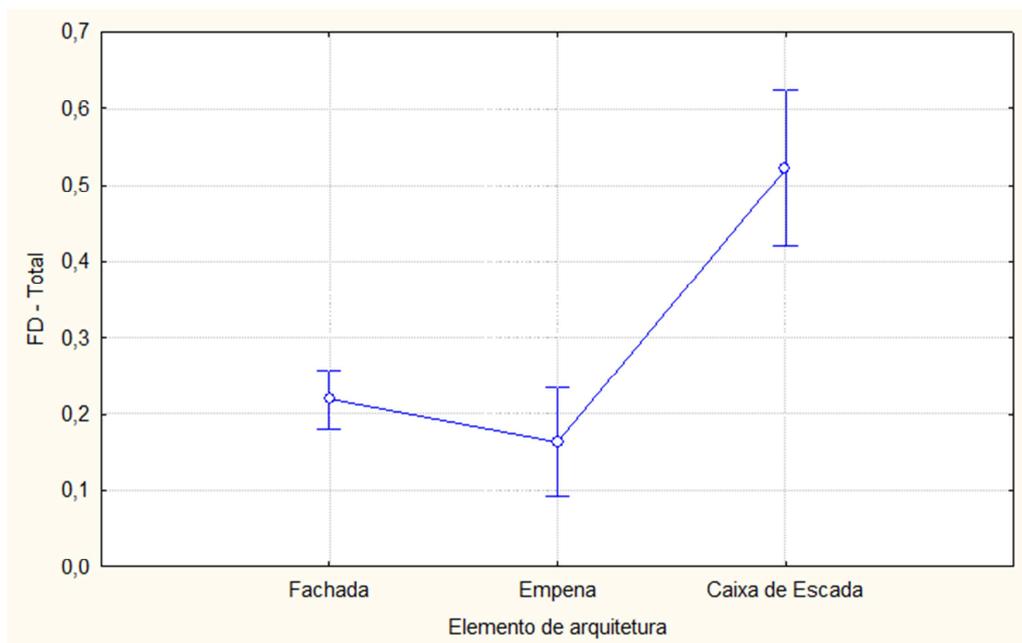


Figura 4.19 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do  $FD_{Total}$  em função do elemento de arquitetura.

Na Tabela 4.8, o valor de  $p$  menor que 0,05 indica que os elementos de arquitetura influenciam no Fator de Dano (FD), ou seja, que há diferenças significativas entre os valores de  $FD_{Total}$  dos elementos de arquitetura. O  $FD_{Total}$  de Caixas de Escada apresentou a maior dispersão, conforme Figura 4.19.

Os resultados do teste de Duncan estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Resultados do Teste de Duncan para os elementos de arquitetura.

	Elemento de arquitetura	Média ( $FD_{Total}$ )	1	2
2	Empena	0,163912	****	
1	Fachada	0,219382	****	
3	Caixa de Escada	0,522465		****

O resultado do Teste de Duncan apontou dois grupos para os elementos de arquitetura, um representando as Empenas e as Fachadas e outro representado as Caixas de Escada. Porém estes resultados podem não ser muito significativos, devido as Caixas de Escada serem constituídas apenas por edifícios com idades mais avançadas.

Na Figura 4.20 está ilustrada a distribuição de danos dos diferentes elementos de arquiteturas considerados neste estudo.

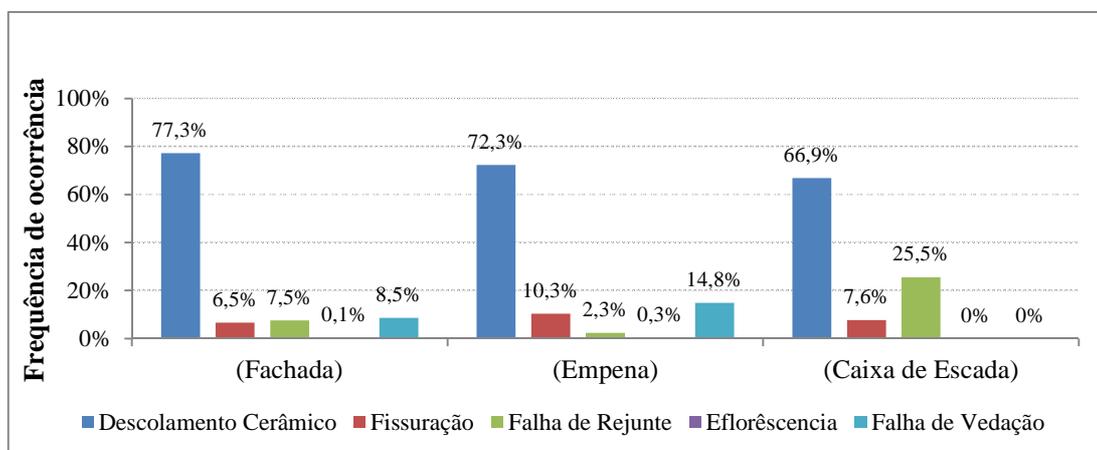


Figura 4.20 – Distribuição de danos em função dos elementos de arquitetura.

Observando-se as anomalias correntes nas fachadas, a anomalia que se destaca é o Descolamento Cerâmico (77,3%); Eflorescência (0,1%) é praticamente nula; Fissuração (6,5%); Falha de Rejunte (7,5%) e Falha de Vedação (8,5%) apresentam valores de seus percentuais de ocorrência bastante próximos.

Para o caso das Empenas, nota-se que o Descolamento Cerâmico (72,5%) também apresenta elevado valor de ocorrência. E que diferentemente das fachadas, a Fissuração (10,3%) e Falha de Vedação (14,8%) ocorrem com mais frequência nas Empenas. Já a Falha de Rejunte (2,3%) apresenta menor ocorrência nas Empenas do que nas Fachadas.

As anomalias que se destacam nas Caixas de Escada são os Descolamentos Cerâmicos (66,9%) e as Falhas de Rejunte (25,5%), seguido da Fissuração (7,6%). Nota-se a ausência de Eflorescência e Falha de Vedação nestes elementos de arquitetura, assim apontando a ocorrência de apenas três das cinco anomalias estudadas. Em geral, há um elevado percentual de ocorrência de Descolamento Cerâmico e um baixo percentual de ocorrência de Eflorescência em todos os elementos de arquiteturas.

Tendo em vista que os resultados do  $FD_{Total}$  dos elementos de arquitetura apresentados apontam as Caixas de Escada como os elementos de arquitetura mais susceptíveis a degradação, fica comprovada a influência do elemento de arquitetura na degradação da

fachada. E, conseqüentemente, evidenciando a influência da configuração da fachada no surgimento das anomalias.

Em uma análise geral de todos os grupos de análise (faixa de idade, orientação e elemento de arquitetura), as primeiras classes dos histogramas possuem maioria dos dados, assim possuindo elevadas frequências de ocorrência nestas classes. Isto implica em uma tendência da distribuição de frequência de dados semelhante para qualquer que seja a análise. Esta tendência pode ser representada pela Figura 4.21.

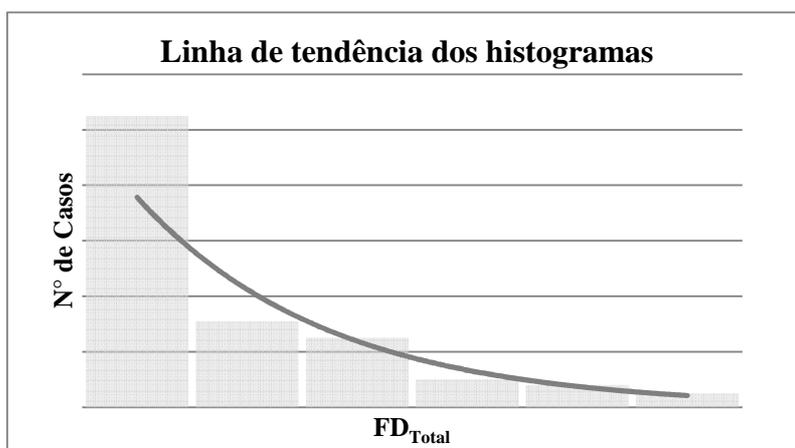


Figura 4.21 – Tendência da distribuição de danos

A linha de tendência apresentada na Figura 4.21 indica que quanto maior o valor do Fator de Dano Total, menor é o número de ocorrências. Observa-se que o número de casos presente na primeira classe é muito superior à quantidade das demais classes, caracterizando uma curva contínua, onde ocorre a predominância dos casos para as pequenas degradações.

#### 4.1.4 Comportamento da distribuição da degradação em regiões da fachada

Para além da idade, orientação cardinal e elemento de arquitetura, foram quantificados e tabulados dados de degradação das regiões que compõem a fachada, pois se sabe que a degradação das fachadas não ocorre de forma uniforme.

Como descrito na metodologia, a análise da degradação para as diferentes regiões foi realizada a partir do  $FD_{RC}$ , que, após uma padronização das áreas das regiões, permite comparar equitativamente a degradação.

Observa-se que os histogramas para cada grupo de análise os valores de  $FD_{RC}$  de cada região, apresentados no Anexo II, em geral, apresentaram comportamentos similares aos histogramas de  $FD_{Total}$  anteriormente apresentados. A Figura 4.22 exemplifica a tendência do comportamento da distribuição dos valores de  $FD_{RC}$ .

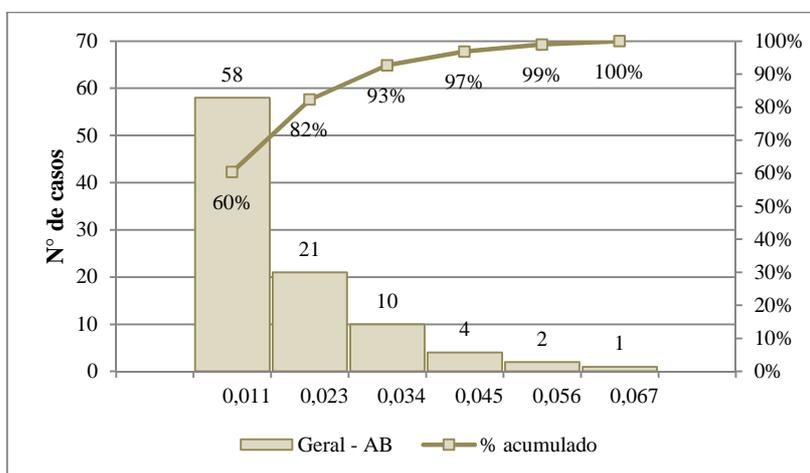


Figura 4.22 – Exemplo do comportamento da distribuição dos valores de  $FD_{RC}$ .

Nos histogramas apresentados no Anexo II, apenas a Faixa 1 (idades inferior a 15 anos) apresentaram a tendência de distribuição observada nos histogramas geral, este comportamento ocorre devido ao efeito cumulativo da ação continuada dos agentes climáticos ao longo do tempo. Observando-se as distribuições de frequência de ocorrência nas orientações, destaca-se a orientação Leste das Aberturas que apresenta maior concentração dos casos na sexta classe do histograma, fugindo assim a tendência apresentada para as demais orientações. Este comportamento pode ser explicado pelas elevadas tensões diferenciadas no contorno nas aberturas, pela ausência ou ineficiência de vergas e/ou contravergas, ausência de juntas de dessolidarização, e ainda devido aos impactos mecânicos no encontro entre as esquadrias e o revestimento cerâmico. Na avaliação dos elementos de arquitetura, observa-se que apenas as Caixas de Escada apresentaram uma distribuição mais simétrica, igualmente distribuída, para todas as regiões analisadas.

Na Tabela 4.10 são apresentados alguns dados estatísticos de  $FD_{RC}$  para todas as amostras, independente do grupo de análise, de forma a auxiliar na análise da influência das regiões no processo de degradação. A escala de cores utilizada na Tabela 4.10 facilita a identificação da região com maior valor de  $FD_{RC}$  para cada dado estatístico em cada linha

desta tabela, ou seja, ordena em ordem decrescente na escala de cores. Por exemplo, observando-se os mínimos de cada região, a região de Transição entre Pavimentos (vermelho) apresentou-se maior, seguido das regiões de Topo (rosa), Cantos de Extremidades (rosa), Aberturas (cinza) e Sacadas (cinza), e a região de Paredes Contínuas (preto) possui o menor valor dos dados mínimos das regiões.

Tabela 4.10 – Dados estatísticos dos valores de  $FD_{RC}$  de todas as amostras.

$FD_{RC}$	PC	AB	SC	CE	TP	TO
Quant. de amostra	142	96	79	112	119	136
Mínimo	● 0,0001	● 0,0001	● 0,0001	● 0,0001	● 0,0004	● 0,0003
Mediana	● 0,0070	● 0,0073	● 0,0031	● 0,0126	● 0,0149	● 0,0041
Média	● 0,0184	● 0,0122	● 0,0068	● 0,0209	● 0,0260	● 0,0174
Freq. 80%	● 0,0292	● 0,0213	● 0,0120	● 0,0320	● 0,0429	● 0,0286
Freq. 90%	● 0,0546	● 0,0304	● 0,0154	● 0,0599	● 0,0731	● 0,0531
Máximo	● 0,1181	● 0,0675	● 0,0620	● 0,0986	● 0,1407	● 0,1164

Obs.: Escala de cores em ordem decrescente (vermelho > rosa > cinza > preto)

Ressalta-se que, devido à frequência de ocorrência a 80% representar a tendência de degradação de regiões mais afetadas para as regiões menos afetadas, determinou-se o valor característico associado a frequência de ocorrência a 80% como parâmetro de análise representativo de cada comportamento em questão.

É nítida a predominância de elevados valores para a região de Transição entre Pavimentos independentemente do parâmetro analisado. Nota-se também que as sacadas apresentam baixos valores de  $FD_{RC}$  para todos os dados estatísticos analisados, exceto para o mínimo. Isto indica que a região mais afetada pelo processo de degradação é a região de Transição entre Pavimentos e a menos afetada é a região de Sacadas. Destaca-se a diferente quantidade de amostra para cada região, pois existem regiões que não apresentam danos e/ou fachadas que não apresentam todas as regiões.

A escala de cor utilizada, para facilitar a identificação da ordem escalar das regiões, mostra que os valores adotados como valores característicos acompanham, em geral, a tendência das regiões mais críticas, sendo a Transição entre Pavimentos mais críticas, seguidas dos Cantos e Extremidades, Paredes Contínuas, Topo, Aberturas e Sacadas. Devido a grande

diferença entre os valores característicos e as médias das regiões, a análise de variância das regiões pode não ser a melhor forma de avaliar as regiões.

Como discutido anteriormente, o valor característico (80%) para cada região é dado pela frequência acumulada a 80%. Desta forma, de maneira a verificar como a degradação das regiões se comporta, o valor característico (80%) das regiões para as amostras em geral e para cada grupo de análise está apresentado a seguir nas Figuras 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26.

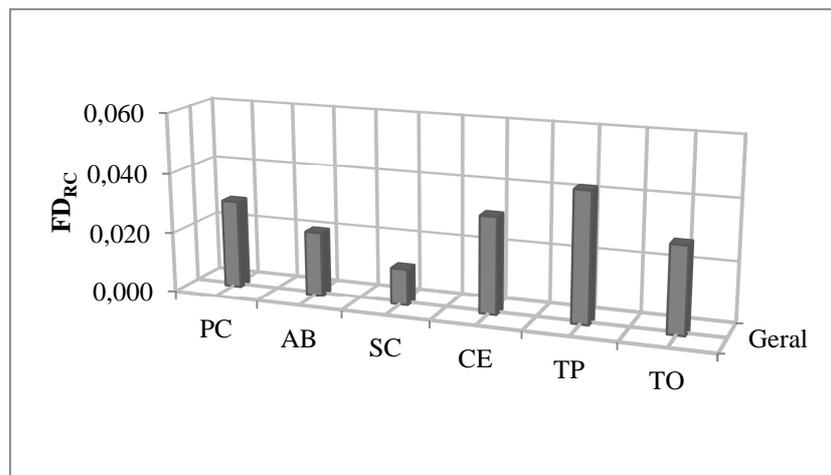


Figura 4.23 – Valor característico (80%) de  $FDR_c$  de todas as amostras para cada região

Os valores característicos a 80% de frequência de ocorrência de cada região apresentado na Figura 4.23 mostram que a região que apresenta o maior valor característico (80%) é a região de Transição entre Pavimentos (TP), seguida das regiões de Cantos e Extremidades (CE), Topo (TO), Parede Contínuas (PC), Aberturas (AB) e, por fim, Sacadas (SC).

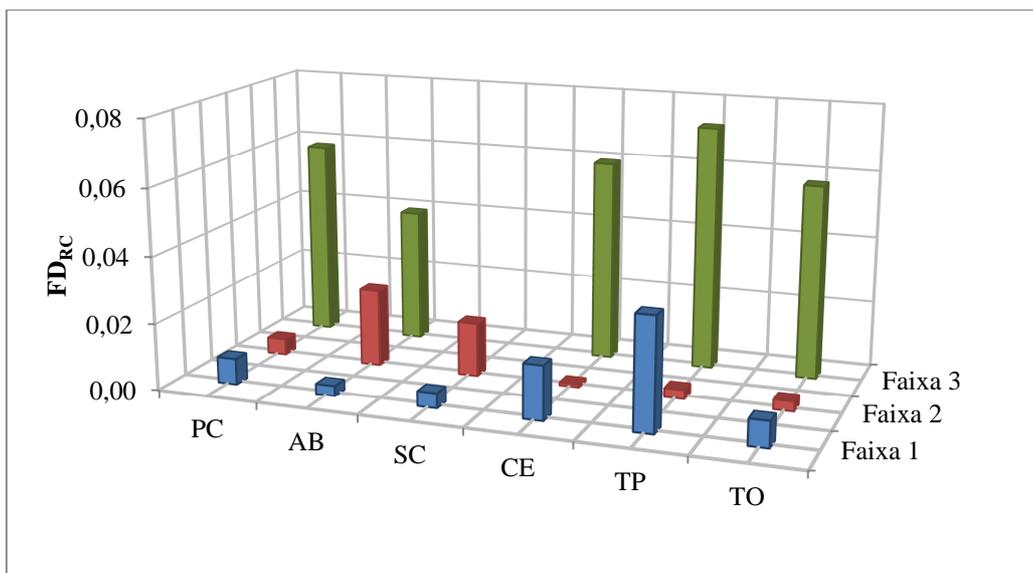


Figura 4.24 – Valor característico (80%) de  $FD_{RC}$  das faixas de idade para cada região.

Os maiores valores, apresentados na Figura 4.24, estão presentes nos edifícios com idade superior a 25 anos, como já observado no estudo do FD, pois o processo de degradação é evolutivo no decorrer do tempo.

Tanto nos edifícios mais jovens (idades menores que 15 anos) quanto nos edifícios mais antigos (idades maiores que 25 anos), a região de Transição entre Pavimentos se apresentou mais crítica. Já os edifícios de idade média (idades entre 15 e 25 anos) apresentaram como região mais crítica a região de Aberturas, isto pode ser reflexo da ineficiência do processo construtivo, que torna mais evidente o aspecto do conjunto técnico do edifício, por exemplo, a dificuldade da execução dos reenquadramentos das aberturas.

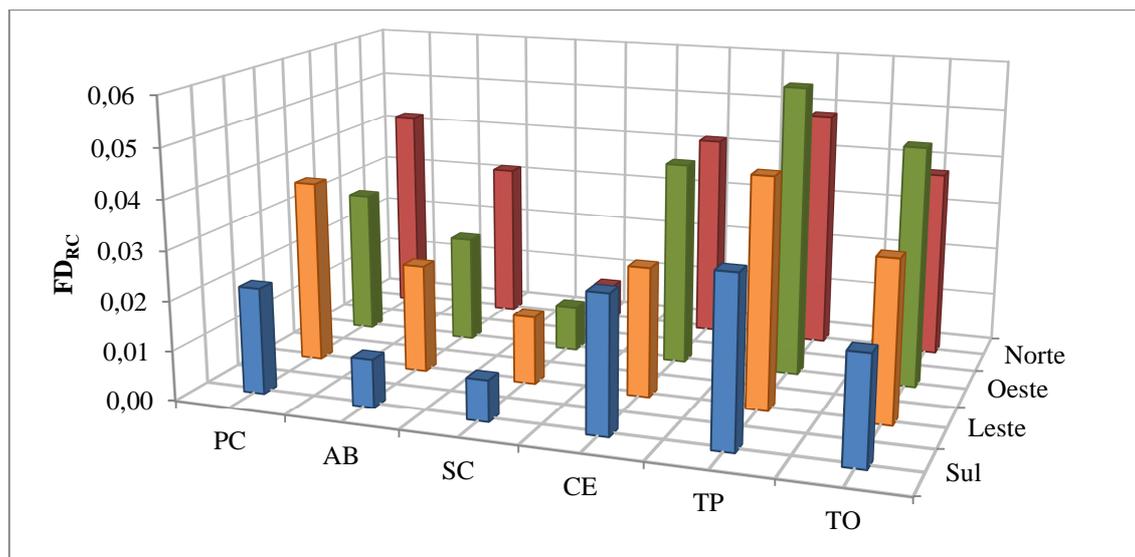


Figura 4.25 – Valor característico (80%) de  $FD_{RC}$  das orientações para cada região

Independentemente da orientação solar, a região que se apresentou mais crítica é a região de Transição entre Pavimentos e a menos crítica é a região de Sacadas, conforme se observa na Figura 4.25.

Em geral, as orientações que apresentaram maiores índices de degradação foram as orientações Norte e Oeste. É importante destacar que a análise das regiões é feita em função da frequência a 80% e não da média. Por conseguinte, as orientações Leste e Sul apresentaram menor degradação. Este comportamento é coerente, pois conforme observa-se na análise de  $FD_{Total}$ , a orientação Norte e Oeste se apresentaram com maior susceptibilidade à degradação.

Considerando apenas as orientações mais degradadas (Norte e Oeste), observa-se nas regiões de Transição entre Pavimentos e Topo a degradação foi maior na orientação Oeste do que na Norte, e que nas regiões de Paredes Contínuas e Aberturas a orientação Norte se apresentou mais degradada que na orientação Oeste. As demais regiões (Sacadas e Cantos de Extremidades) apresentaram variações pouco significativas.

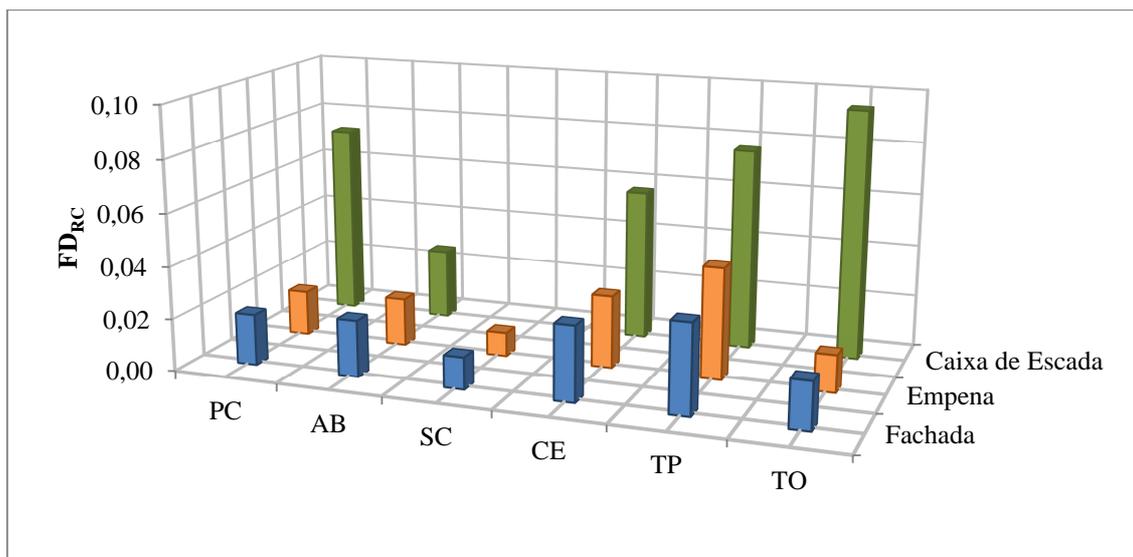


Figura 4.26 – Valor característico (80%) de  $FD_{RC}$  do elementos de arquitetura para cada região da fachada.

Observa-se na Figura 4.26 que a região que apresentou maior degradação foi a Transição entre Pavimentos, exceto na Caixa de Escada, que apresentou a região de Topo como a região mais crítica.

Os valores característicos (80%) das Caixas de Escada, por se tratar apenas de edifícios com idades mais avançadas e em função do pouco número de amostras, possuem uma importância menor e são menos representativos. Já os resultados obtidos para as Fachadas e Empenas apresentaram valores que possuem maior relevância.

Diante do exposto, pode-se afirmar, no conjunto total do universo de estudo, que a região de Sacada é a região menos afetada pelo processo de degradação e que a região de Transição entre Pavimentos é uma das regiões mais afetadas pela degradação. As regiões de Paredes Contínuas e Cantos de Extremidades são regiões que se apresentam menos críticas que a Transição entre Pavimentos, porém mais críticas que as regiões de Topo e Aberturas. A distribuição da degradação ao longo da fachada não apresenta fortes alterações em função da idade, da orientação e do elemento de arquitetura.

## 4.2 ANÁLISE DO FATOR GERAL DE DANOS (FGD)

As análises do FD permitiram delinear o comportamento da degradação, porém este fator não indica a gravidade da degradação. Para verificar a gravidade da degradação é proposto um índice que pondera em função da importância das anomalias,  $FGD_A$ , que utiliza critérios baseados em análise dos resultados obtidos de  $FD_{Total}$  e também um índice que pondera em função da região em que ocorre a anomalia. Ressalta-se que a grande contribuição deste trabalho é o critério utilizado para a definição do nível de condição ( $kn$ ), que foi balizado em função da frequência de ocorrência das amostras estudadas, tornando-se uma análise mais realista.

#### **4.2.1 Fator Geral de Danos – A ( $FGD_A$ )**

O Fator Geral de Danos – A ( $FGD_A$ ) pondera em função da importância das anomalias, assim como o FGD proposto por Silva (2014), porém os critérios ( $kn_A$ ) utilizados são baseados em estudos de edifícios em condições reais para as amostras contidas no universo de estudo desta dissertação. Ressalta-se que os critérios utilizados por Silva (2014) são critérios adotados em estudos de edifícios localizados em Portugal.

Existem diferenças nos sistemas construtivos, clima e concepções de projeto para a região de Brasília-DF, implicando em um espectro de análise particular para cada localidade. Assim, torna-se interessante obter critérios regionais, segundo as considerações de vida útil e durabilidade de determinado local.

O critério  $kn_A$ , utilizado para o  $FGD_A$ , advém de uma análise da frequência de ocorrência do  $FD_{Total}$  das anomalias comuns nos edifícios estudados. O nível de condição de degradação ( $kn_A$ ) estabelece uma escala de degradação, de forma hierárquica, das anomalias conforme sua extensão de ocorrência. A escala de degradação é apresentada em cinco níveis de condição entre 0 (sem degradação visível) e 4 (degradação generalizada), correspondendo o nível 3 ao fim da vida útil do sistema em análise.

Os critérios adotados foram baseados na distribuição de frequência de  $FD_{Total}$ , ou seja, são resultados da análise de frequência de ocorrência das amostras contidas no universo de estudo. O critério do percentual de área degradada adotada como limite do nível de condição 1 para o nível de condição 2 equivale ao valor característico de 50% das amostras, a transição do nível de condição 2 para 3 equivale ao valor característico (80%),

e por fim o limite do nível de condição 3 para 4 equivale ao valor de  $FD_{Total}$  de 90% das amostras. Ressalta-se que esta análise foi feita para cada tipo de anomalia, gerando, desta forma, critérios adequados para as amostras do universo de estudo, conforme apresentados na Tabela 4.11, e que gerou a Tabela 3.1.

Tabela 4.11 – Critérios adotados na transição dos níveis de condição de cada anomalia.

Anomalias	% área degradada	Nível de Condição ( $kn_A$ )	Crítério de valor característico (Freq. Acum.)
Desc. Cerâmico (DC)	< 37,1%	2	< 80%
	37,1% < x < 49,1%	3	80% < x < 90%
	> 49,1%	4	> 90%
Fissuração (FI)	< 4,0%	2	< 80%
	4,0% < x < 6,1%	3	80% < x < 90%
	> 6,1%	4	> 90%
Falha de Rejunte (FR)	< 4,3%	1	< 50%
	4,3% < x < 9,0%	2	50% < x < 80%
	> 9,0%	3	> 80%
Eflorescência (EF)	< 1,2%	1	< 50%
	1,2% < x < 1,5%	2	50% < x < 80%
	> 1,5%	3	> 80%
Falha de Vedação (FV)	< 5,7%	1	< 50%
	5,7% < x < 8,1%	2	50% < x < 80%
	> 8,1%	3	> 80%

Ressalta-se que as anomalias de Descolamento Cerâmico e Fissuração não são classificadas como nível 1, e que as anomalias de Falha de Rejunte, Eflorescência e Falha de Vedação não são classificadas como nível 4. Este fato deve-se a evolução dos danos, onde muitas vezes, as anomalias secundárias se propagam e acarretam anomalias mais graves. Por exemplo, o Descolamento Cerâmico que deve-se a inúmeras causas, muito possivelmente uma Falha de Rejunte detectada nas idades menores pode converter-se em descolamento nas idades mais avançadas.

O  $k_{máx}$  adotado por Silva (2014) equivale à uma constante do nível de pior condição ( $k_{máx} = 4,00$ ), porém para que esta constante represente à totalidade da fachada degradada com o maior nível de gravidade possível, faz-se necessário que esta área de referência contemple

a soma dos  $k_{m\acute{a}x}$ . O  $FGD_A$  utiliza no denominador o  $\sum k_{m\acute{a}x}$ , que equivale a 17 ( $DC_{m\acute{a}x} = 4$ ;  $FI_{m\acute{a}x} = 4$ ;  $FR_{m\acute{a}x} = 3$ ,  $EF_{m\acute{a}x} = 3$  e  $FV_{m\acute{a}x} = 3$ ).

É importante dizer que a constante  $k_{cn}$  permanece igual ao proposto na equação do  $FGD$  de Silva (2014).

Os resultados da aplicação do  $FGD_A$ , no universo de estudo desta dissertação, estão apresentados na Figura 4.27. Os resultados estão em função do universo de estudo total e também para as orientações cardeais consideradas.

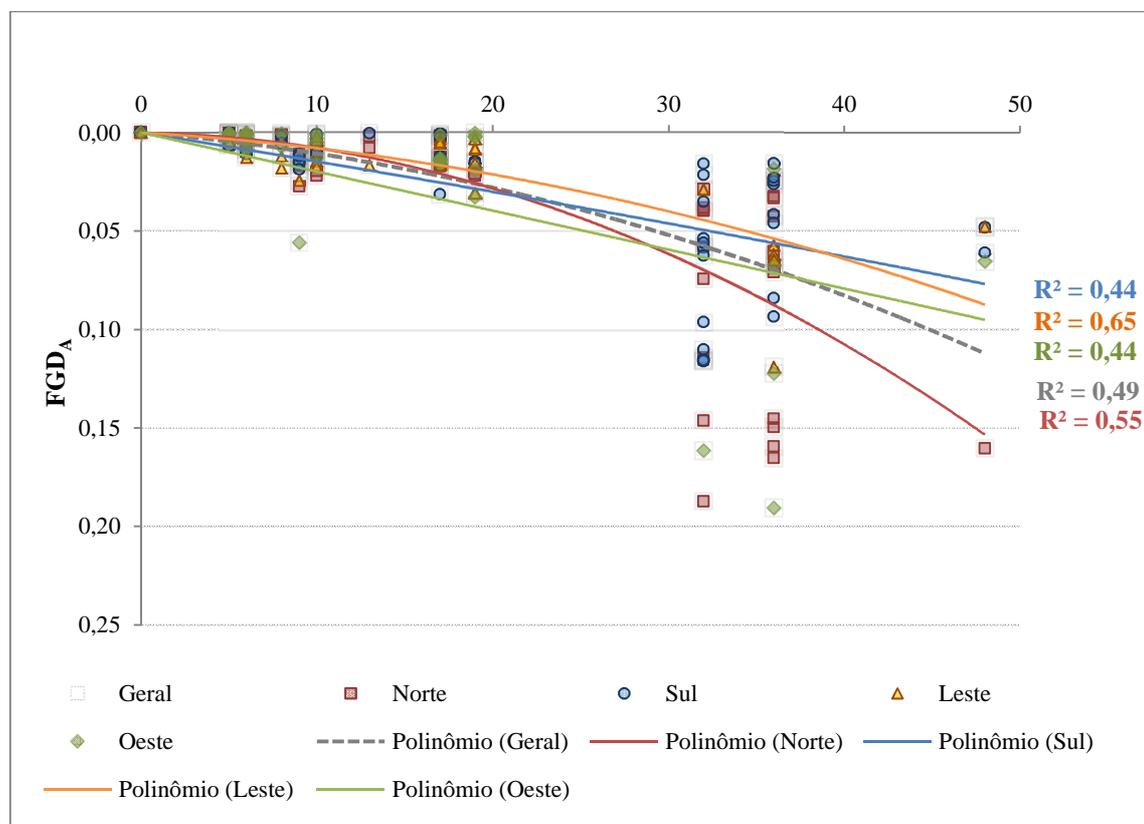


Figura 4.27 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo ( $FGD_A$  x Idade)

A Figura 4.27 aponta que as fachadas com idade inferior a 20 anos apresentam valores de  $FGD_A$  abaixo de 0,6 e, logo após essa idade, a degradação das fachadas aumentam consideravelmente.

Nota-se na Figura 4.27 que a tendência da curva das orientações quanto a degradação são semelhantes as apresentadas para o  $FD_{Total}$  (Figura 4.8). Porém, sabe-se que o  $FGD_A$  mensura a degradação considerando os níveis de condição das anomalias, assim verificando a gravidade da degradação.

O comportamento das curvas de degradação do  $FGD_A$  mostram tendências diferenciadas para as orientações. A orientação Oeste apresenta  $FGD_A$  maiores que na orientação Oeste nos edifícios com idade inferior a 25 anos, e nos edifícios com idades mais avançadas a orientação Norte se apresenta mais crítica. Essa alteração da orientação mais crítica no decorrer dos anos pode estar associada às elevadas variações de temperatura no sistema de revestimento, ou a elevado número de ciclos de variações menores, ocasionando a fadiga e a ruptura do sistema.

Os valores de correlação ( $R^2$ ) obtidos desta análise se apresentaram estatisticamente relevantes, pois, apesar de serem inferiores aos apresentados por Silva (2014) em uma regressão polinomial ( $N = 0,61$ ,  $O = 0,73$ ,  $L = 0,71$  e  $S = 0,73$ ), estes são superiores aos encontrados por Sousa (2008) em uma regressão linear ( $N = 0,17$ ,  $O = 0,51$ ,  $L = 0,53$  e  $S = 0,32$ ).

Diante dos resultados apresentados, os maiores índices de degradação estão concentrados na orientação Norte e Oeste. Estes resultados convergem com os estudos de Silva (2014). Portanto, a influência da orientação no processo de degradação passa a ser dominante universal, pois há um padrão de repetição nas tendências de orientações.

Os resultados de  $FGD_A$  considerando os elementos de arquitetura dos edifícios estão apresentados na Figura 4.28.

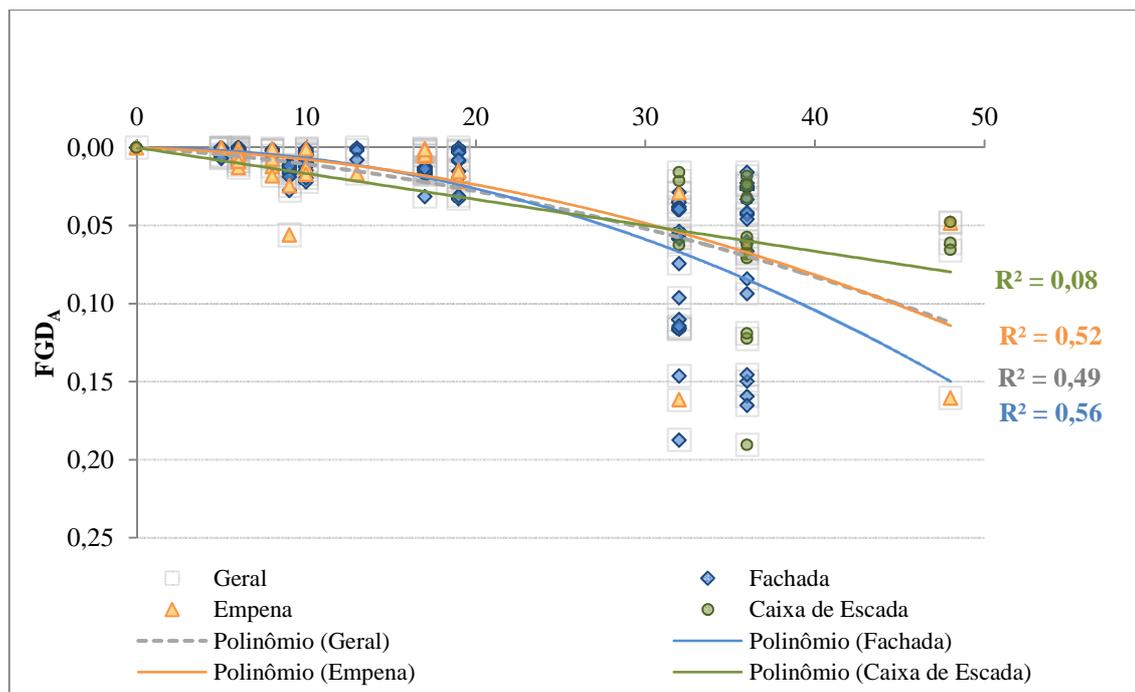


Figura 4.28 – Comportamento da degradação para os diferentes elementos de arquitetura ao longo do tempo ( $FGD_A \times Idade$ )

Das curvas de degradação relativas aos vários elementos de arquitetura considerados (Figura 4.28), é possível aferir que nas idades mais avançadas as fachadas apresentaram maior tendência à degradação. Por sua vez, as Empenas apresentam menor susceptibilidade à degradação que as Fachadas, e as Caixas de Escada são os elementos de arquitetura que apresentam menores índices de degradação nos edifícios com idades superiores a 25 anos.

Nas idades iniciais, as fachadas e as Empenas apresentam o mesmo comportamento de degradação, e as Caixas de Escada não são passíveis de análise por constituírem apenas amostras com idade superior a 25 anos.

A curva de tendência das Empenas apresenta similaridade com a curva geral apresentada, isso pode indicar que o comportamento da degradação nas Empenas representa o comportamento da degradação em geral.

#### 4.2.2 Fator Geral de Danos (FGD)

O índice de degradação FGD proposto por Silva (2014) foi aplicado ao banco de dados obtidos para este estudo, assim permitindo a comparação dos índices de degradação,  $FGD_A$

e FGD. Os resultados de FGD obtidos para cada orientação estão apresentados na Figura 4.29.

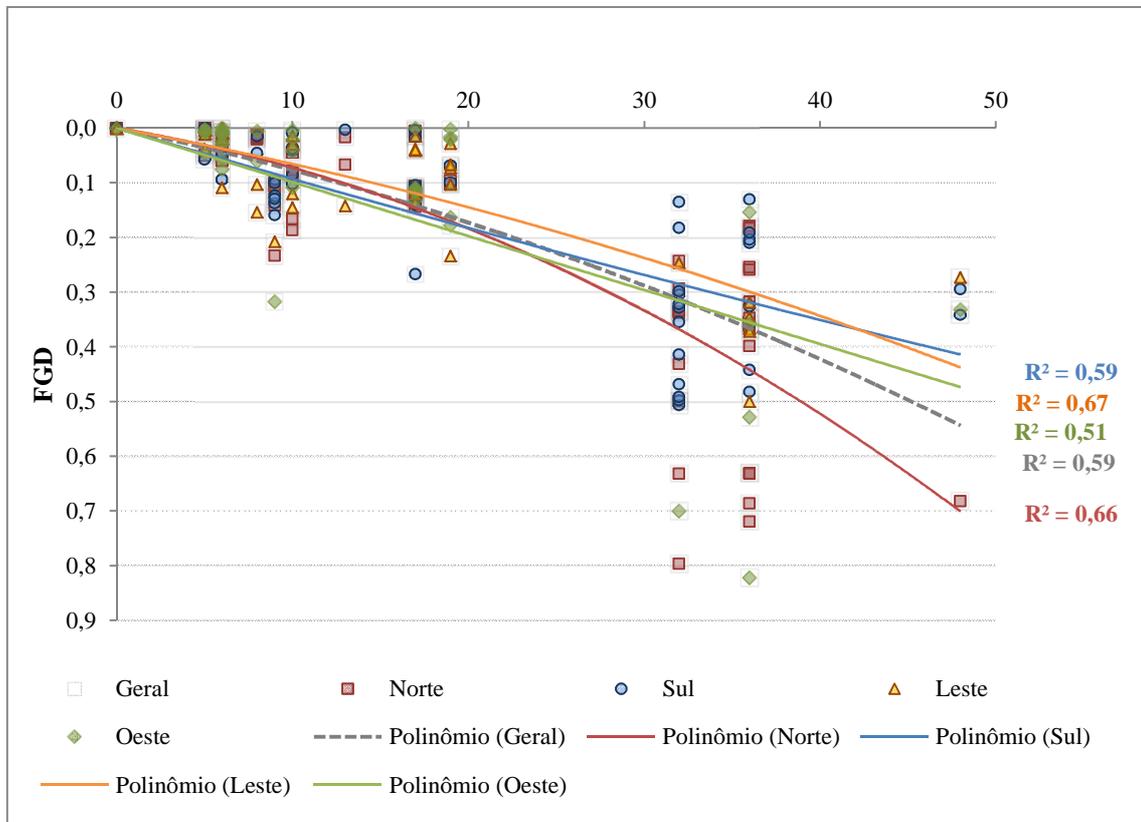


Figura 4.29 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo (FGD x Idade)

Observa-se na Figura 4.29 que a orientação Norte se apresenta com maior degradação, seguida da orientação Oeste, Leste e Sul. De forma geral, as curvas de tendência de FGD apresentam comportamentos similares à curva de degradação de  $FGD_A$ . Os valores de correlação para o FGD, que aplica os critérios adotados por Silva (2014), são superiores aos apresentados para o  $FGD_A$ . Mesmo com a diminuição do valor de correlação, o  $FGD_A$  é considerado representativo para os edifícios que compõem o universo de estudo, pois os critérios utilizados foram baseados em valores que caracterizam as amostras. A evolução das curvas de degradação de FGD e  $FGD_A$  foi semelhante, conseqüentemente, mostram os mesmos efeitos. Existe um forte paralelismo entre as tendências observadas. Há uma pequena variação dos valores de correlação ( $R^2$ ), sendo vantajoso o uso do  $FGD_A$ , pois este utiliza um critério de definição em função dos valores característicos, ou seja, em função da tendência da distribuição estatística da ocorrência das anomalias. É importante ressaltar

que os criterios definidos foram baseados em frequênciade ocorrência dos resultados obtidos a partir no universo de estudo.

### 4.2.3 Fator Geral de Danos – B (FGD<sub>B</sub>)

O modelo FGD<sub>B</sub>, proposto na presente dissertação, baseia-se nos modelos desenvolvidos que ponderam a gravidade das anomalias e das regiões, porém adaptado à incidência de ocorrência das anomalias nas regiões. Definiu-se assim o índice de degradação, designado de Fator Geral de Danos – B (FGD<sub>B</sub>), que permite verificar a sensibilidade da distribuição da degradação ao longo da fachada, associada à região em que ocorre a anomalia. Conforme descrito no capítulo de metodologia, foi inserido no FGD<sub>A</sub> um fator que pondere as regiões, denominado kr. Os resultados obtidos da aplicação do FGD<sub>B</sub> ao universo de estudo estão apresentados na Figura 4.30.

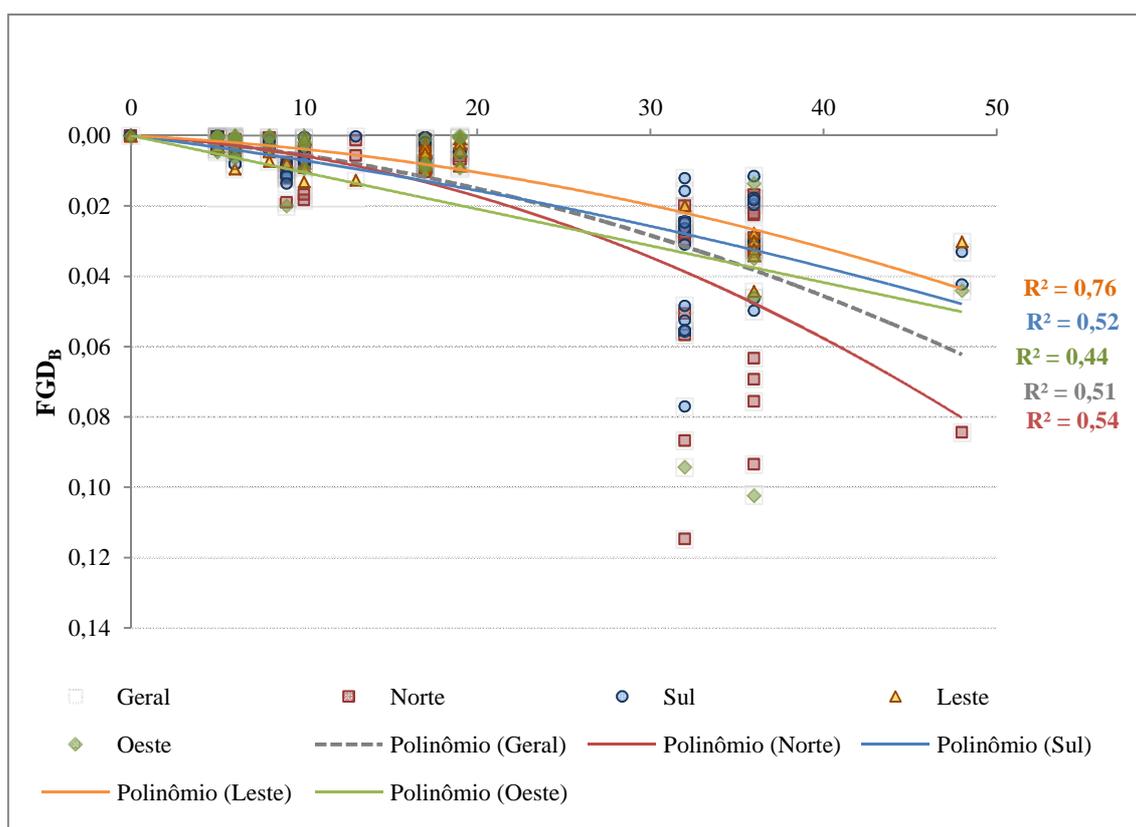


Figura 4.30 – Comportamento da degradação para as diferentes orientações ao longo do tempo (FGD<sub>B</sub> x Idade)

Observa-se, na Figura 4.30, que as fachadas direcionadas para o Norte tendem a apresentar mais degradação nas idades mais avançadas, e nas idades iniciais a orientação Oeste tende

a apresentar maior degradação. As orientações Norte e Oeste se mantêm como as mais críticas.

Há algumas diferenças entre as curvas de tendência dos índices  $FGD_A$  (Figura 4.27) e  $FGD_B$  (Figura 4.30) para as orientações. Entre estas diferenças, destaca-se que a orientação Sul, quando não é ponderado as regiões ( $FGD_A$ ), tende a apresentar menor degradação que as demais orientações, mas quando é avaliado a questão da região em que ocorre as anomalias ( $FGD_B$ ), a orientação Sul se apresenta com maior tendência a degradação que a orientação Leste.

A tendência do comportamento de degradação para o índice  $FGD_B$  todas as amostras (linha cinza pontilhada) foi similar a do  $FGD_A$ , porém o maior valor de correlação ( $R^2$ ) do índice  $FGD_B$  permite melhor entendimento da degradação em fachadas, pois esta é uma proposta consistente e considera variáveis importantes no processo de degradação.

Os valores de correlação ( $R^2$ ) se apresentam maiores para o índice  $FGD_B$  do que o  $FGD_A$ , implicando então que este índice ( $FGD_B$ ) representa melhor o comportamento da degradação e a mostra também a importância da distribuição dos danos ao longo da fachada. Galbusera, Brito e Silva (2014) obtiveram o valor de  $R^2$  igual a 0,40 e considerou este valor incapaz de tipificar a evolução da degradação para revestimentos cerâmicos. Diante disso, verificou-se a confiabilidade da amostra, a partir da realização de novas inspeções das amostras verificadas e foram detectadas de situações anormais, e posteriormente foi feita a melhoria da amostra incluindo uma análise sobre a quantidade necessária para completar a análise de influência da combinação de parâmetros e obtiveram o valor de  $R^2$  igual a 0,76. O valor de  $R^2$  igual a 0,51 obtido neste estudo é um valor considerado adequado, pois no universo de estudo, do presente trabalho, não houve um refinamento de dados e é um valor superior ao obtido por Galbusera (2014).

Visto que se seguiu a linha de investigação adoptada por Sousa (2008) e (Silva 2014), considera-se relevante comparar os resultados obtidos. Sousa (2008) obteve valores na ordem de 0,39, e afirma que devido a dispersão elevada dos valores obtidos, a curva de degradação não foi capaz de tipificar a degradação para edifícios com sistemas de revestimentos cerâmicos. Por sua vez, Silva (2014) obteve um valor de correlação geral na

ordem de 0,63, constatando assim, que o modelo apresentava uma elevada adequação à realidade modelada.

Apesar da complexidade do comportamento dos processos de degradação nas fachadas de revestimentos cerâmicos, considera-se que os valores obtidos nesta dissertação indicam um adequado ajustamento do modelo, pois os valores de correlação deste estudo são resultados de inspeções em fachadas, em condições reais de uso.

Conclui-se que os três modelos permitiram observar um comportamento similar da evolução da degradação das fachadas, porém faz-se necessário que sejam conhecidos fatores que influenciam o processo de degradação, como o tipo de anomalia, a agressividade dos agentes climáticos e a distribuição da degradação ao longo da fachada. Entende-se que tanto os ajustes de  $k$ , como a proposta das regiões ( $FGD_B$ ) são proposições que melhoram o entendimento dos fenômenos expressos nos índices de degradação, além de apresentar-se como uma fórmula mais completa de análise.

### **4.3 COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO GLOBAL DE DEGRADAÇÃO**

Para os estudos de degradação, além de avaliar a extensão de área degradada, é necessário também avaliar a gravidade e a região em que as anomalias se encontram. Essas considerações estão incluídas nos indicadores de degradação, FD e FGD. Desta forma, o objetivo deste item é sintetizar os resultados apresentados neste capítulo e fazer uma análise comparativa entre eles.

A utilização do valor característico (80%) para a discussão dos resultados mostrou-se expressivo para representar as situações mais críticas de degradação em fachadas. Desta forma os valores característicos de FD – Total para os grupos de análise estão apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Valores característicos de FD – Total para os grupos de análises.

	FD <sub>Total</sub>	Valor característico (80%)
	Geral	0,4305
<i>Faixa de idade</i>	Idades jovens	0,1304
	Idades médias	0,2073
	Idades avançadas	0,7544
<i>Orientação cardeal</i>	Norte	0,5239
	Sul	0,4324
	Leste	0,2526
	Oeste	0,2125
<i>Elemento de arq.</i>	Fachada	0,4023
	Empena	0,1878
	Caixa de Escada	0,7490

Observa-se na Tabela 4.12 que os valores maiores de FD<sub>Total</sub> acontecem nas situações em que as fachadas apresentam orientação Norte, ou elemento de arquitetura é Caixa de Escada, ou quando a edificação apresenta idade superior a 25 anos.

A partir dos resultados das faixas de idade constata-se que a evolução da degradação aumenta ao longo do tempo. Quanto às orientações cardeais e aos elementos de arquitetura, observa-se que a orientação Norte e as Caixas de Escada apresentaram maior valor característico (80%).

Devem ser considerados os valores característicos (80%) das regiões das amostras em geral, mas para fins acadêmico, na Tabela 4.13 são apresentados os valores caraterísticos das regiões para os diferentes grupos de análise.

Tabela 4.13 – Valores característicos (80% de  $FD_{RC}$ ) das regiões.

Valor característico (80%)	PC	AB	SC	CE	TP	TO
Geral	0,0292	0,0213	0,0120	0,0320	0,0429	0,0286
Idades jovens	0,0078	0,0030	0,0044	0,0162	0,0337	0,0077
Idades médias	0,0048	0,0233	0,0162	0,0009	0,0027	0,0029
Idades avançadas	0,0591	0,0402	-	0,0603	0,0732	0,0582
Norte	0,0427	0,0322	0,0076	0,0420	0,0489	0,0381
Sul	0,0214	0,0096	0,0082	0,0274	0,0335	0,0213
Leste	0,0372	0,0219	0,0137	0,0260	0,0459	0,0322
Oeste	0,0295	0,0219	0,0092	0,0415	0,0586	0,0483
Fachada	0,0195	0,0215	0,0122	0,0286	0,0341	0,0179
Empena	0,0172	0,0183	0,0092	0,0278	0,0426	0,0142
Caixa de Escada	0,0735	0,0270	-	0,0578	0,0772	0,0953

Como esperado, observa-se na Tabela 4.13 que as regiões dos edifícios com idades avançadas apresentaram maior degradação que as regiões dos edifícios com idades iniciais e idades médias. Porém, em uma comparação das idade médias com as idades iniciais, observa-se que as regiões de Paredes Contínuas (0,0078), Cantos e Extremidades (0,0162), Transição entre Pavimentos (0,0337) e Topo (0,0077) apresentaram maiores degradações nas idades iniciais do que nas idades médias, assim não ocorrendo como o esperado. Isso pode ter ocorrido devido as anomalias nas idades iniciais não serem ocasionadas pela exposição aos agentes de degradação e sim causados por erros de projeto ou execução.

Independente da orientação, a tendência de regiões mais degradadas que outras não mudam, exceto na orientação sul que apresenta a segunda região mais degradada como Cantos e Extremidades e a orientação Oeste que apresenta a segunda mais degradada como Topo.

Em uma análise dos elementos de arquitetura, observa-se que as Caixas de Escada apresentam maiores valores característicos (80%), independente da região analisada. Observa-se também que a tendência da região mais critica (Transição entre Pavimentos) se repete nas Fachadas e Empenas, já nas Caixas de Escada a região mais critica ocorre no Topo.

O comportamento da degradação é verificado a partir da análise dos indicadores de degradação, apresentados neste capítulo, ao longo do tempo. Estes são apresentados na Figura 4.31.

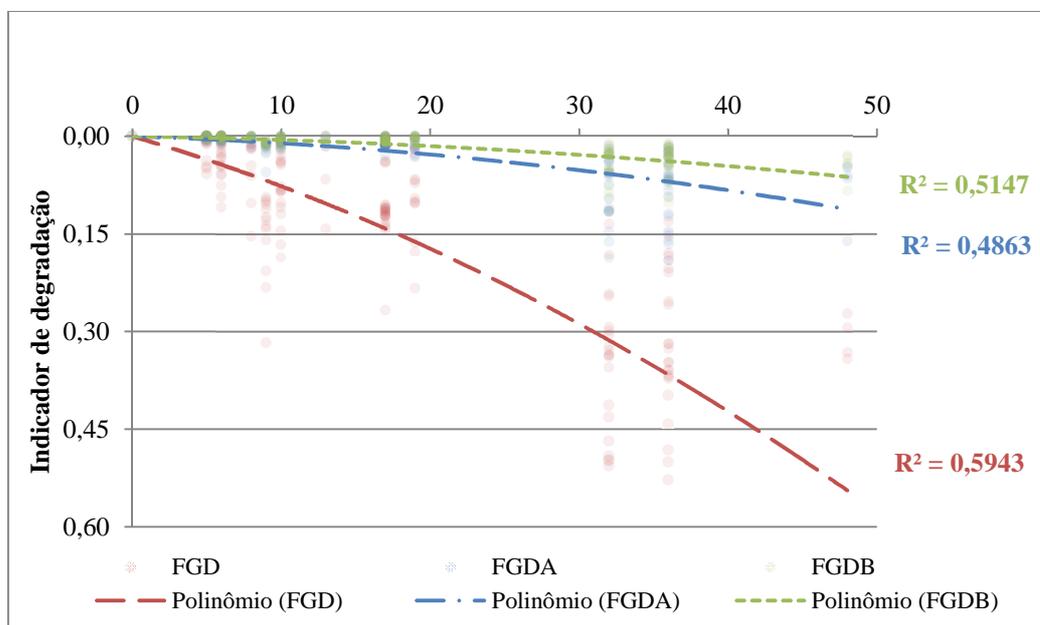


Figura 4.31 – Comparação do comportamento dos indicadores de degradação ao longo do tempo

Observa-se uma considerável redução dos valores de  $FGD_A$  e  $FGD_B$  em relação ao  $FGD$ . Esta redução deve-se a diferença adotada do valor de referência da condição mais crítica da fachada ( $k_{m\acute{a}x}$  e  $\sum k_{m\acute{a}x}$ ). E a diferença da inclinação da curva de  $FGD_A$  e  $FGD_B$  se deve a parcela redutora que pondera as regiões.

Quando a ponderação das regiões é inserida no indicador de degradação há uma menor dispersão dos resultados, resultando então no aumento do valor de correlação de  $FGD_A$  para  $FGD_B$ , isto indica que a ponderação das regiões torna a avaliação da degradação mais precisa.

Observa-se ainda que a redução do valor de correlação do  $FGD_B$  não é uma redução brusca, de forma a invalidar o comportamento da degradação. Esta redução é uma redução desprezível, visto que alguns pesquisadores apresentaram valores inferiores para fachadas com revestimentos aderentes (Tabela 2.4).

Ressalta-se ainda que os três comportamentos de degradação apresentam tendências semelhantes de degradação, assim consolidando a metodologia proposta.

A norma ABNT NBR 15575-1: 2013 apresenta os valores de vida útil das fachadas com revestimentos aderentes equivalente a 20 anos e a vida útil do sistema de vedação vertical externa igual a 40 anos (ver Tabela 2.1). A partir das curvas da degradação é possível obter uma referência de indicador de degradação, conforme ilustrado na Figura 4.32. Os valores de referência dos índices FGD, FGD<sub>A</sub> e FGD<sub>B</sub> para os diferentes grupos de análise estão apresentados na Tabela 4.14.

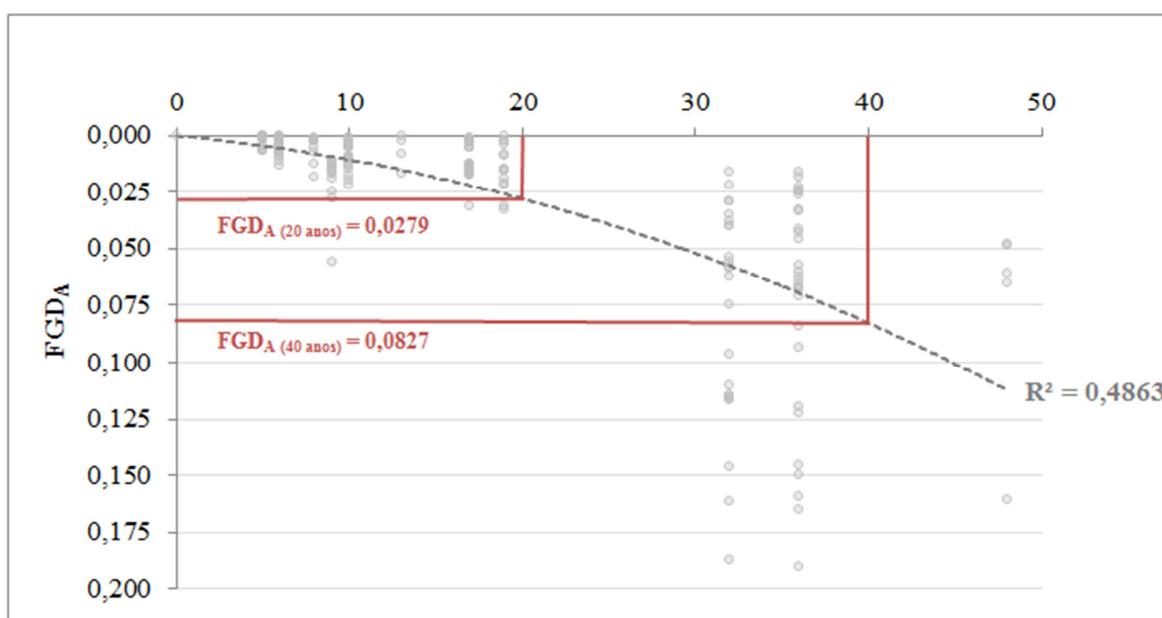


Figura 4.32 – Exemplo de obtenção do valor de referência do indicador de degradação.

Tabela 4.14 – Valores de referência dos indicadores de degradação.

Índice equivalente	20 anos			40 anos		
	FGD	FGDA	FGDB	FGD	FGDA	FGDB
Geral	0,1727	0,0279	0,0150	0,4225	0,0827	0,0456
Norte	0,1835	0,0283	0,0173	0,5222	0,1075	0,0577
Sul	0,1826	0,0301	0,0156	0,3508	0,0629	0,0374
Leste	0,1447	0,0212	0,0104	0,3434	0,0641	0,0319
Oeste	0,1974	0,0396	0,0209	0,3948	0,0792	0,0418
Fachada	0,1701	0,0263	0,0147	0,5197	0,1043	0,0570
Empena	0,1390	0,0238	0,0126	0,4100	0,0816	0,0457
Caixa de Escada	0,1750	0,0332	0,0178	0,3500	0,0665	0,0356

As curvas de tendência apresentadas representam graficamente a perda de desempenho ao longo do tempo, assim permitindo estabelecer, a partir de um nível mínimo de desempenho, a vida útil residual das fachadas. Desta maneira, pode-se afirmar que fachadas com revestimentos aderidos que apresentam índices de degradação superior ao valor equivalente a 20 anos (conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575-1: 2013) na curva  $FGD_B$  possivelmente ultrapassaram o limite de vida útil de projeto mínimo, sendo necessário a manutenção do sistema de revestimento cerâmico, ou até mesmo substituição do mesmo.

Observa-se que a orientação Oeste das fachadas até 25 anos, independentemente do indicador de degradação, tende a apresentar maior degradação e que após esse período, a orientação Norte passa a apresentar maior degradação.

Já as fachadas são de arquitetura que apresentam os indicadores de degradação durante toda a vida útil maiores que as Empenas. As Caixas de Escada permitem apenas uma análise nas idades mais avançadas, pois há uma lacuna dessa tipologia nos edifícios jovens. Portanto, em idades mais avançadas as Caixas de Escada tendem a apresentar menor degradação que as Fachadas e as Empenas.

## 5 CONCLUSÕES

No presente estudo, a metodologia MMD e a mensuração de degradação pelo indicador de degradação (FGD, FGD<sub>A</sub>, FGD<sub>B</sub>) foram utilizadas para avaliação de vida útil de fachadas. A partir dos resultados obtidos foi possível comprovar alguns aspectos que influenciam na vida útil de fachadas de edifícios, tendo como aspectos mais relevantes a influência da exposição aos agentes climáticos, da idade das fachadas, bem como da configuração dos elementos constituintes destas.

A partir da mensuração da degradação e avaliação da vida útil, através dos indicadores de degradação FD<sub>Total</sub> e FGD, é possível afirmar que:

- ✓ O método e as informações sistematizadas no banco de dados permitiram a quantificação da degradação e a análise dos principais fatores que a condicionam. Desta forma, o método se mostrou apto a análise da degradação.
- ✓ Tanto a análise da distribuição de danos quanto os indicadores de degradação obtidos a partir do método desenvolvido permitiram as análises necessárias.
- ✓ O mapeamento das anomalias apontou elevada incidência de descolamento cerâmico nas fachadas em geral, uma das explicações para isto é a ação dos agentes climáticos caracterizada pelo estudo das orientações cardeais.
- ✓ A orientação cardinal das fachadas contribui para a incidência de anomalias. Porém, os tipos de anomalias correntes nas fachadas não são influenciados pela orientação cardinal. A orientação Norte apresentou maior tendência à degradação que as demais orientações, e a orientação que apresentou menor susceptibilidade a degradação foi a orientação Sul.
- ✓ Existem algumas regiões que compõem as fachadas que são mais sensíveis à degradação do que outras. A ordem da degradação das regiões mais degradadas para as menos degradadas são: Transição entre Pavimentos, Cantos e Extremidades, Paredes Contínuas, Topo, Aberturas e Sacadas.

- ✓ O estudo das regiões das fachadas permite estabelecer os padrões de degradação ao longo da fachada. Porém, esta forma de distribuição da degradação nas diferentes regiões que compõem a fachada não são influenciadas pela idade, orientação e elemento de arquitetura, ou seja, essa forma de distribuição ocorre em todas as combinações de efeitos estudadas.
- ✓ As Fachadas se apresentaram mais susceptíveis à degradação que as Empenas e as Caixas de Escada, porém estes resultados exigem mais investigação, uma vez que os dados de campo para esta avaliação produziram resultados não conclusivos, talvez pela peculiaridade do universo de estudo.
- ✓ Há uma maior dispersão dos resultados de degradação nas amostras de edifícios com idades mais avançadas, indicando o efeito cumulativo dos agentes climáticos. Ressalta-se que mesmo que as fachadas sejam executadas em condições iguais, sempre haverá variabilidade da resposta do sistema à condição em que esta é exposta.
- ✓ Os indicadores estudados proporcionam a definição da curva de degradação, também chamadas de curvas de tendência, para a avaliação da vida útil de fachadas. As curvas de degradação obtidas são coerentes as observadas em outros estudos.
- ✓ A metodologia aplicada a este estudo não é subjetiva, pois foram apresentados critérios para a aplicação da mesma. A metodologia, juntamente com os critérios adotados, se mostra adequada para mensuração da degradação em fachadas de edifícios residenciais. Ressalta-se a versatilidade desta metodologia, devido à possibilidade de aplica-la a diferentes tipos de edifícios, e ainda estabelecer comparações entre os mesmos.

## **5.1 TRABALHOS FUTUROS**

Como recomendações para pesquisas futuras, foram propostas as seguintes sugestões que dizem respeito à durabilidade das fachadas:

- Verificar a importância do tamanho da amostra de fachada, da dimensão, do critério de subdivisão da fachada em amostras.
- Aplicar a metodologia utilizada em novos edifícios, de maneira a diversificar a tipologia dos edifícios e ampliar o universo de estudo.
- Verificar a influência de cada anomalia para as regiões.
- Implementar ferramentas estatísticas para a avaliação de vida útil.
- Avançar nos estudos de quantificação de degradação das fachadas, de maneira a padronizar o método de quantificação de degradação.
- Desenvolver mais estudos que permitam estabelecer critérios adequados para cada localidade, bem como compreender melhor a relação dos indicadores de degradação.
- Sistematizar a relação do nível de degradação com a incidência dos agentes climáticos por orientação.

## REFERÊNCIAS

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 revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14037** Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação, Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-2** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-3** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-5** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-6** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 6: Sistemas Hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674** Manutenção de edificações – Procedimentos, Rio de Janeiro, 1999.

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.; SILVA, M. N. B. Análise quantitativa de danos em sistemas de revestimentos de fachadas de Brasília. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais...**, n. 1, p. 2015–2020, 2012.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. **Cerâmica** 6: 151-159, 2015.

BORDALO, R.; BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes - *Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems*. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, p. 55–69, 2010.

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

COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2014.

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

FLORES-COLEN, I. S.; BRITO, J. *A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies*. **Construction and Building Materials**, 2010.

FLORES-COLEN, I. **Estratégias de manutenção - elementos da envolvente de edifícios correntes**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

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

FRANCINETE JR, P.; SOUZA, J. S.; ZANONI, V. A. G.; BAUER, E.; SILVA, M. N. B. Relação entre a degradação de fachadas e a incidência de chuva dirigida e temperatura - Estudo de caso para os edifícios de Brasília-Brasil. In: CONPAT - XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, **Anais...**, p. 1–8, Lisboa, 2015.

FREITAS, J. G. **A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia-GO**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, 2012.

FREITAS, V. P.; VIEIRA, M.; GUIMARÃES, A. S. *The French, Norwegian and Danish experience. In: A State-of-the-Art Report on Building Pathology, CIB Publication 393, p.30-35, 2013*

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.*

GALBUSERA, M. M.; BRITO, J.; SILVA, A. F. F. *The importance of the quality of sampling in service life prediction. Construction and Building Materials, v. 66, p. 19–29, 2014.*

GARRIDO, M. A. J. **Previsão da vida útil de pinturas de fachadas de edifícios antigos**. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

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.*

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(a).*

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Modelo de degradação de rebocos. **Engenharia Civil, p. 17–28, 2005(b).**

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. L.; BRITO, J. *Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data. In: 10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components. Anais... Lyon, França, 2005(c).*

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.** Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

HELENE, P. Vida útil das estruturas de concreto. In: IV Congresso iberoamericano de patologia das construções. **Anais...** Porto Alegre, 1997.

HOVDE, P. J. *Factor methods for service life prediction. In: Performance Based Methods for Service Life Prediction. In: **Performance Based Methods for Service Life Prediction.** CIB Publication 294, p.01-51, 2004.*

ISO/DIS 15686- - *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 6: **Procedures for considering environmental impacts.** International Organization for Standardization, 2004.*

ISO/DIS 15686-1: *Buildings - Service life planning. Part 1: **General principles and framework,** International Organization for Standardization, 2011.*

ISO/DIS 15686-10 - *Buildings and constructed assets - Service life planning- Part 10: **When to assess functional performance.** International Organization for Standardization, 2010.*

ISO/DIS 15686-2: *Buildings - Service life planning. Part 2: **Service life prediction procedures,** International Organization for Standardization, 2012.*

ISO/DIS 15686-3 - *Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 3: **Performance audits and reviews.** International Organization for Standardization, 2002.*

ISO/DIS 15686-5 - *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 5: **Life-cycle costing.** International Organization for Standardization, 2008.*

ISO/DIS 15686-7 - *Buildings and constructed assets -- Service life planning. Part 7: **Performance evaluation for feedback of service life data from practice.** International Organization for Standardization, 2006.*

ISO/DIS 15686-8: *Buildings - Service life planning. Part 8: **Reference service life and service-life estimation,** International Organization for Standardization, 2008.*

ISO/DIS 15686-9 - *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 9: **Guidance on assessment of service-life data.** International Organization for Standardization, 2008.*

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*

KLIMPEL, E. C.; SANTOS, P. R. C. **Levantamento das manifestações patológicas presentes em unidades do conjunto habitacional moradias Monteiro Lobato**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Instituto IDD, 2010

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

MELO JR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2010.

MOSER, K. – *Engineering design methods for service life prediction*, In: **Performance based Methods of service life prediction**, CIB Publication 294, p. 52–95, 2004.

MOSER, K. – *Towards the practical evaluation of service life – illustrative application of the probabilistic approach*. In: *Durability on Building Materials and Components – Service Life and Asset Management*, **Anais...**, pp. 1319-1329, Vancouver, 1999.

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.

ROSCOE, M. T. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANTOS, M. R. P. **Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

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

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. F. F.; BRITO, J.; GASPAR, P. L. Modelo de previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes (fixados directamente ao suporte). **Engenharia Civil**, p. 35–50, 2011(a).

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(b).

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

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

SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2006.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF.** Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2014.

SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. Avaliação da degradação em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas de Brasília. In: Simpósio de Argamassa e soluções térmicas de revestimento, **Anais...**, p. 1–11, 2014(b).

SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ZANONI, V. A. G. Distribuição de ocorrência de danos e patologias em fachadas de Brasília – estudo de caso. In: Simpósio de Argamassa e soluções térmicas de revestimento, **Anais...**, p. 1–11, 2014(c).

SILVESTRE, J. D. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes.** Dissertação (Mestrado). Universidade técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2005.

SILVESTRE, J. D.; FLORES-COLEN, I. S.; BRITO, J. Estratégia de Manutenção Pró-activa para Juntas de Revestimentos Cerâmicos Aderentes (RCA). In: 1o Congresso Nacional de Argamassas de Construção, p. 1 – 12, **Anais...**, 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.; BAUER, E.; SILVA, M. N. B. Influência dos danos em diferentes regiões das fachadas no fator de danos (FD) e no fator de danos relativo (FDR). In: 57º Congresso Brasileiro do Concreto, **Anais...** n. 1, p. 1–11, Bonito, 2015.

SOUZA, J. S.; NASCIMENTO, M.; BAUER, E. Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias. In: CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, **Anais...**, n. 1, Rio de Janeiro, 2015.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2010.

UCHÔA, J. C. B. **Procedimento numérico e experimental para avaliação da resistência a fadiga de sistemas de revestimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2007.

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.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2015.

## **ANEXO I**

## Anexo I – CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

A seguir é apresentado um exemplo de uma caracterização geral de um edifício. Isto inclui as informações gerais (Tabela A1.1), o mapeamento com a sobreposição da malha (Figura A1.1) e a Ficha de Quantificação (FQ) (Figura A1.2) do Edifício Porto do Sol.

Tabela A1.1 – Informações gerais do edifício

Características	Informações
Código de identificação	11
Edifício	Porto do Sol
Local:	Sudoeste
Dimensão pastilha cerâmica	10 x 10
Quant. de Amostras	3
Cor da pastilha cerâmica	Clara
Juntas entre pavimentos	Não
Ano de Inspeção	2007
Ano de Ocupação	1990
Idade da edificação no ano de vistoria	17
Relatório consta intervenção? Quando?	Não
Número de pavimentos	6
Tem relatório?	Sim
Mapeamento	Sim
Fotos	Sim
Observações	-----



Figura A1.1 - Mapeamento com a sobreposição da malha.

Edifício: Ed. Porto do Sol Identificação: A11.1

Orientação: Norte

		DC	FI	FR	EF	FV	TT
1º Andar	PC						
	AB						32
	SC	27					64
	CE						
	JP						
	TP						
2º Andar	PC						
	AB						32
	SC	21					64
	CE						
	JP						
	TP						
3º Andar	PC						
	AB						32
	SC	15					64
	CE						
	JP						
	TP						
4º Andar	PC						
	AB						32
	SC	2					64
	CE						
	JP						
	TP						
5º Andar	PC						
	AB						32
	SC	8	5				64
	CE						
	JP						
	TP						
6º Andar	PC						
	AB						32
	SC	10	5				64
	CE						
	JP						
	TP						
TO						64	

Edifício: Ed. Porto do Sol Identificação: A11.2

Orientação: Norte

		DC	FI	FR	EF	FV	TT
1º Andar	PC						
	AB						24
	SC	26					32
	CE						
	JP						
	TP						
2º Andar	PC						
	AB						16
	SC	25					32
	CE						
	JP						
	TP						
3º Andar	PC						
	AB						16
	SC	12					24
	CE						
	JP						
	TP						
4º Andar	PC						
	AB						16
	SC	18					24
	CE						
	JP						
	TP						
5º Andar	PC						
	AB						16
	SC	12					24
	CE						
	JP						
	TP						
6º Andar	PC						
	AB						16
	SC	6					32
	CE						
	JP						
	TP						
TO						32	

Edifício: Ed. Porto do Sol Identificação: A11.3

Orientação: Norte

		DC	FI	FR	EF	FV	TT
1º Andar	PC						
	AB						14
	SC	11					28
	CE						
	JP						
	TP						
2º Andar	PC						
	AB						14
	SC	5					28
	CE						
	JP						
	TP						
3º Andar	PC						
	AB						16
	SC	9					21
	CE						
	JP						
	TP						
4º Andar	PC						
	AB						16
	SC	6					21
	CE						
	JP						
	TP						
5º Andar	PC						
	AB						14
	SC	9					21
	CE						
	JP						
	TP						
6º Andar	PC						
	AB						14
	SC	5					28
	CE						
	JP						
	TP						
TO						28	

Figura A1.2 – Ficha de Quantificação (FQ)

## **ANEXO II**

## Anexo II – HISTOGRAMAS DAS REGIÕES

As figuras a seguir apresentam os histogramas para cada grupo de análise dos valores de  $FD_{RC}$  de cada região.

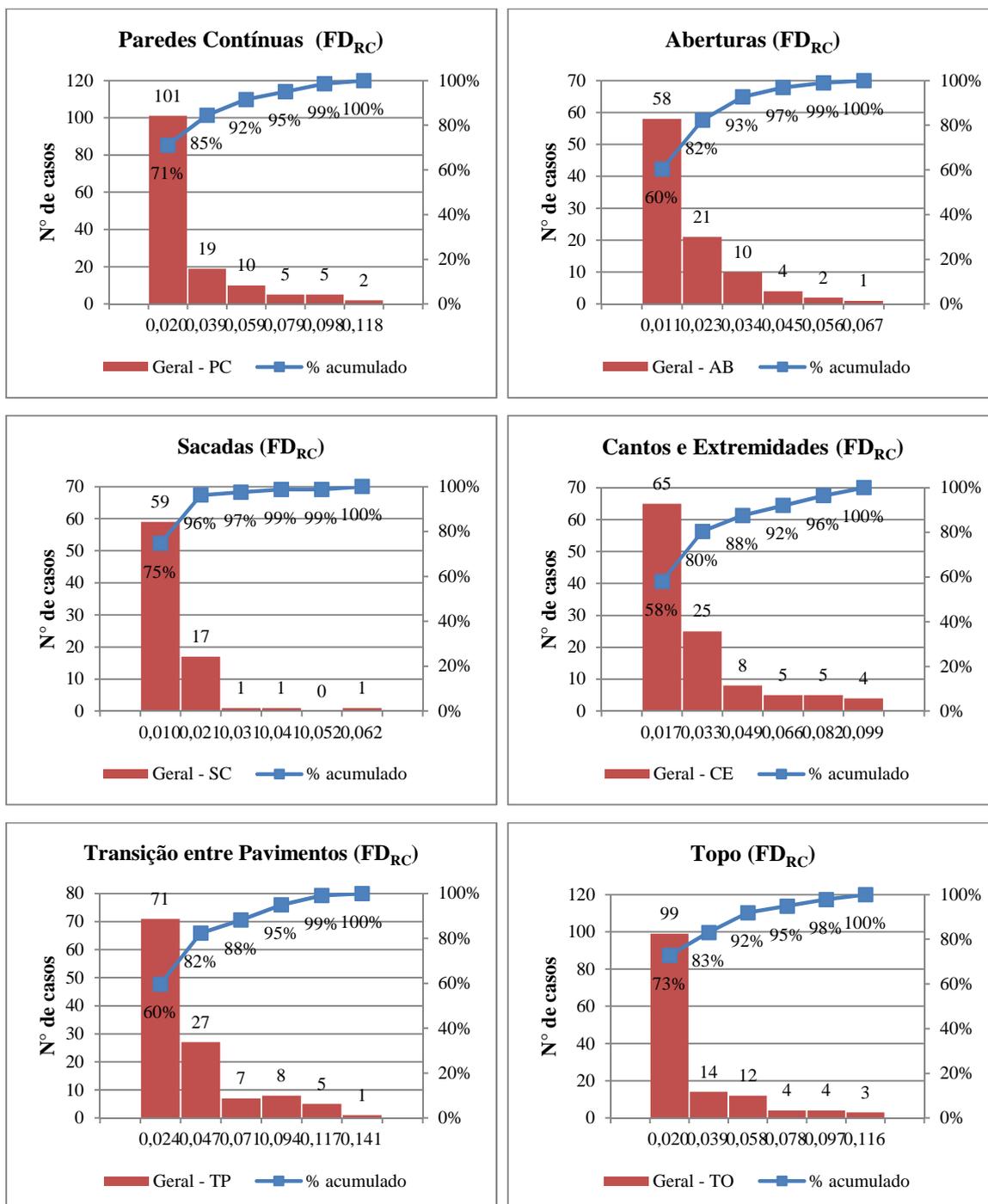


Figura 01 – Histograma geral das seis regiões que compõem as fachadas, independente de idade, de orientação e de elemento de arquitetura.

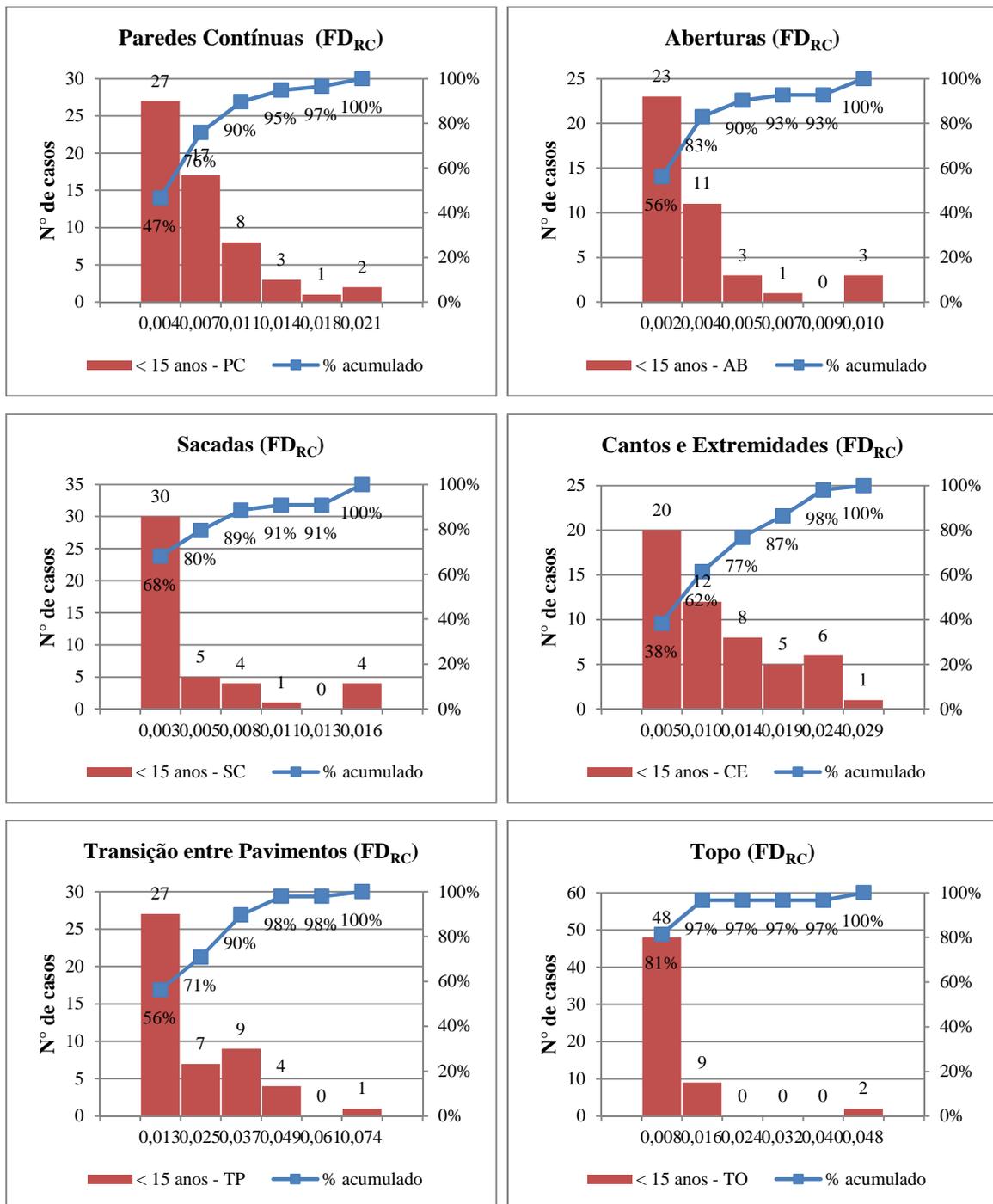


Figura 02 – Histograma das amostras de fachada com idades inferiores a 15 anos (Faixa 1)

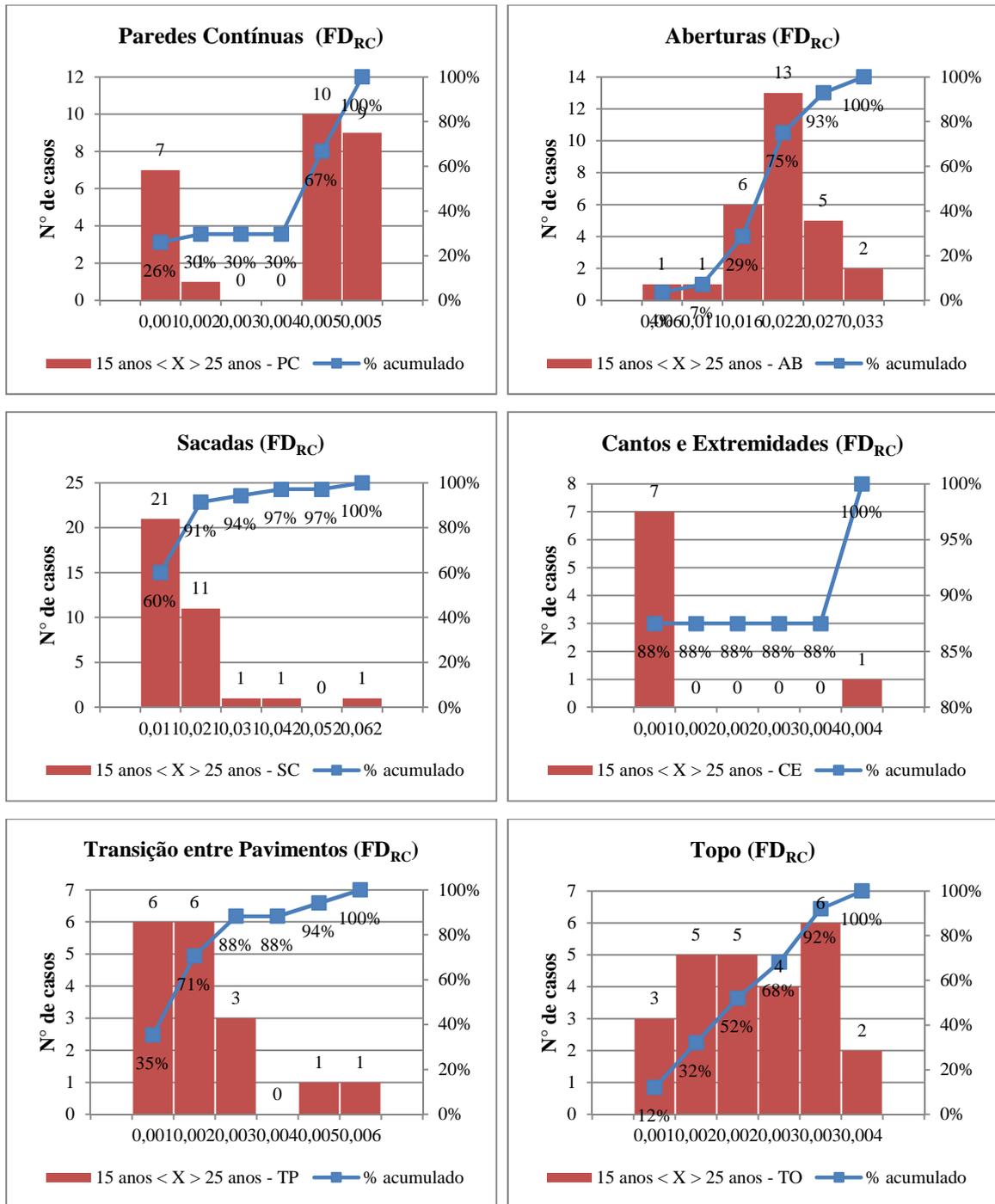


Figura 03 – Histograma das amostras de fachada com idades entre 15 e 25 anos (Faixa 2)

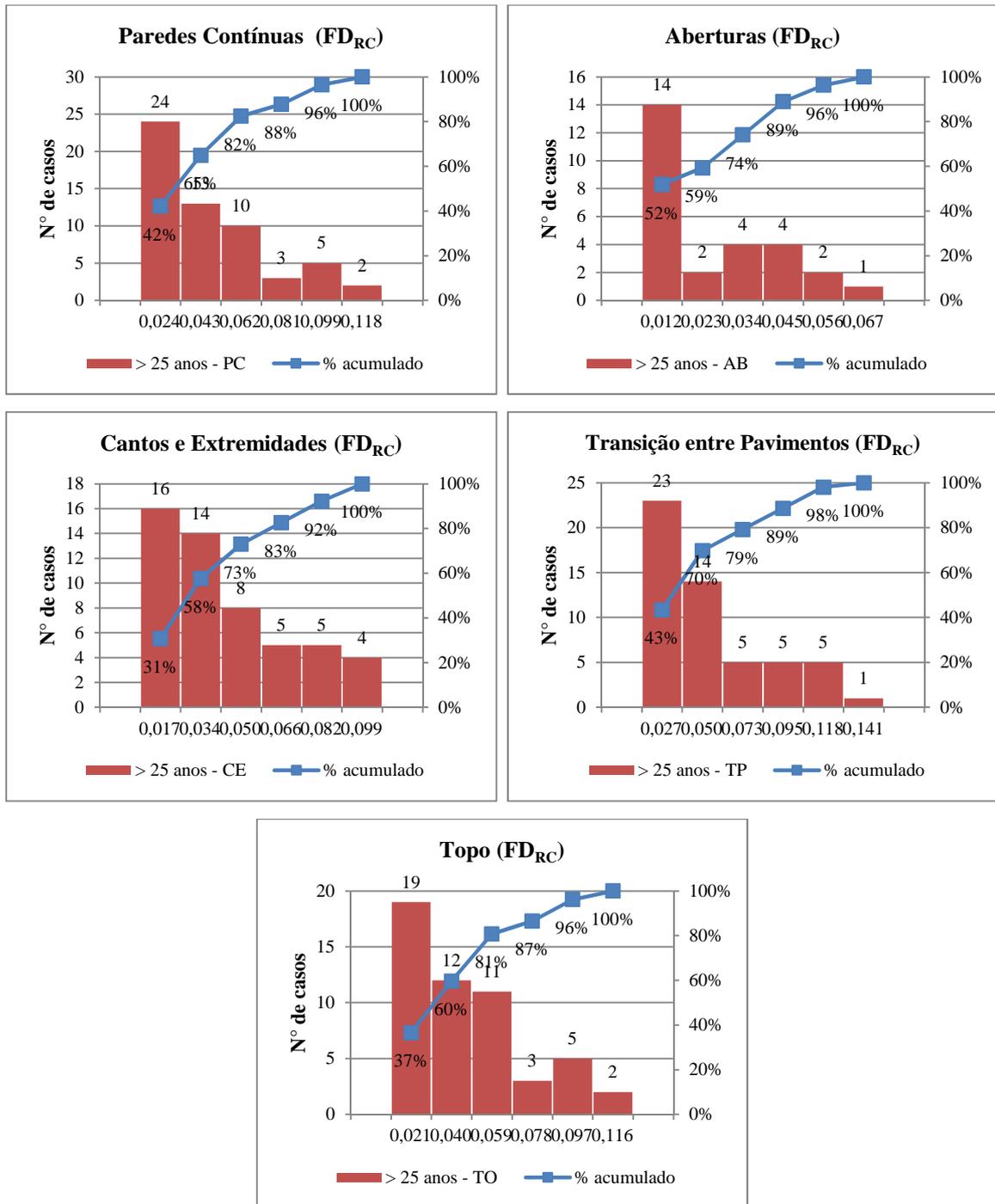


Figura 04 – Histograma das amostras de fachada com idades superiores a 25 anos (Faixa 3)

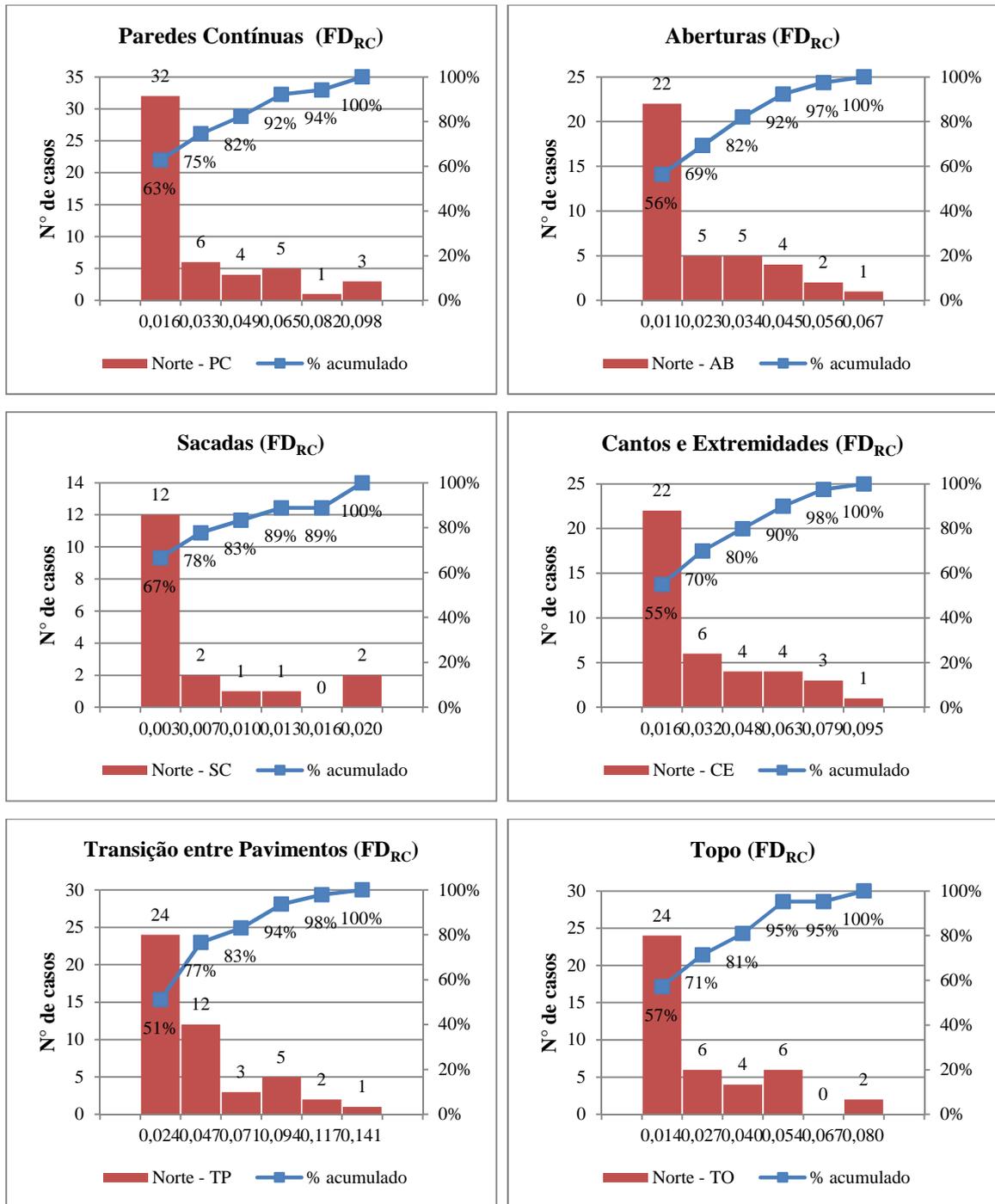


Figura 05 – Histograma da orientação Norte das regiões que compõem as fachadas.

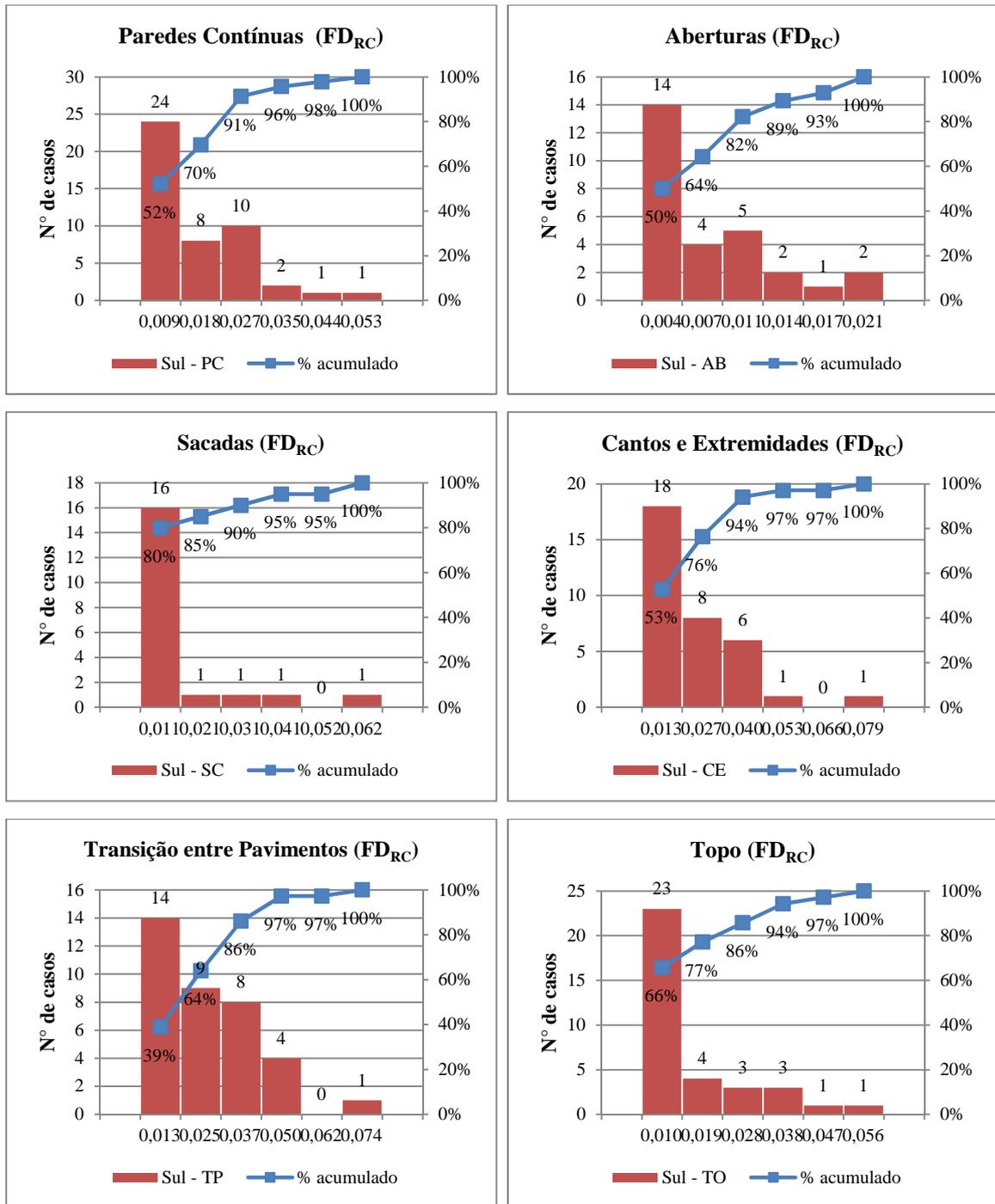


Figura 06 – Histograma da orientação Sul das regiões que compõem as fachadas.

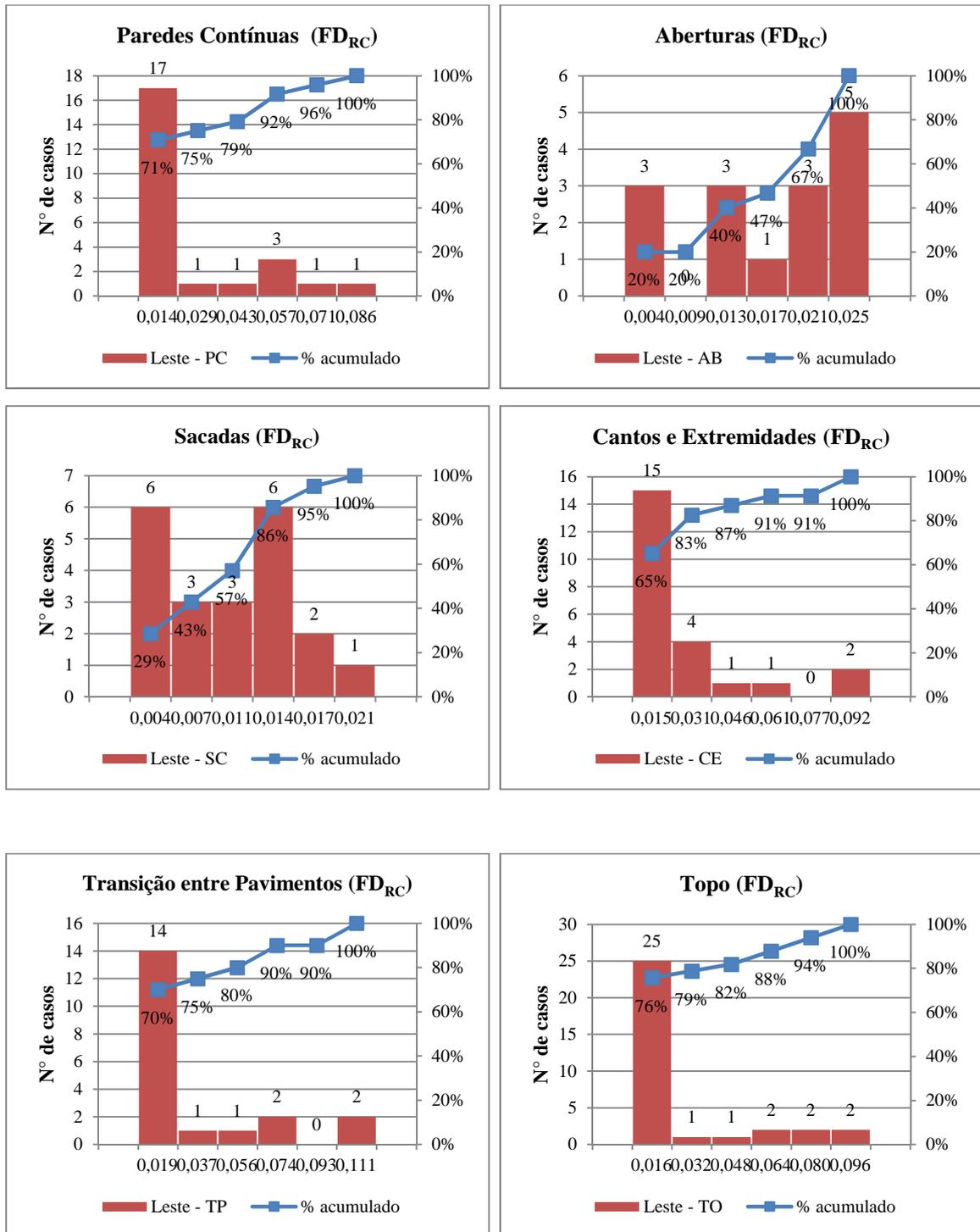


Figura 07 – Histograma da orientação Leste das regiões que compõem as fachadas.

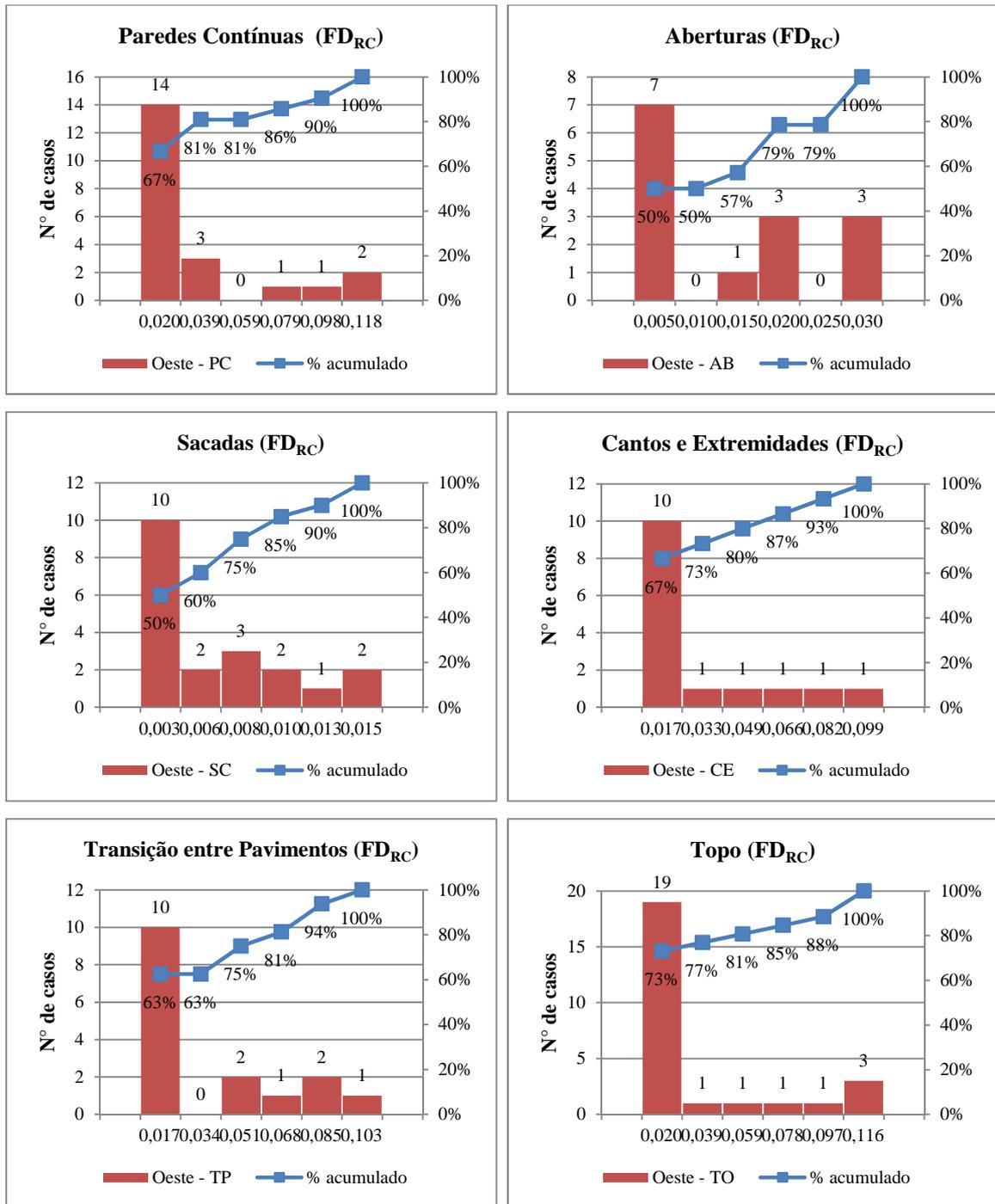


Figura 08 – Histograma da orientação Oeste das regiões que compõem as fachadas.

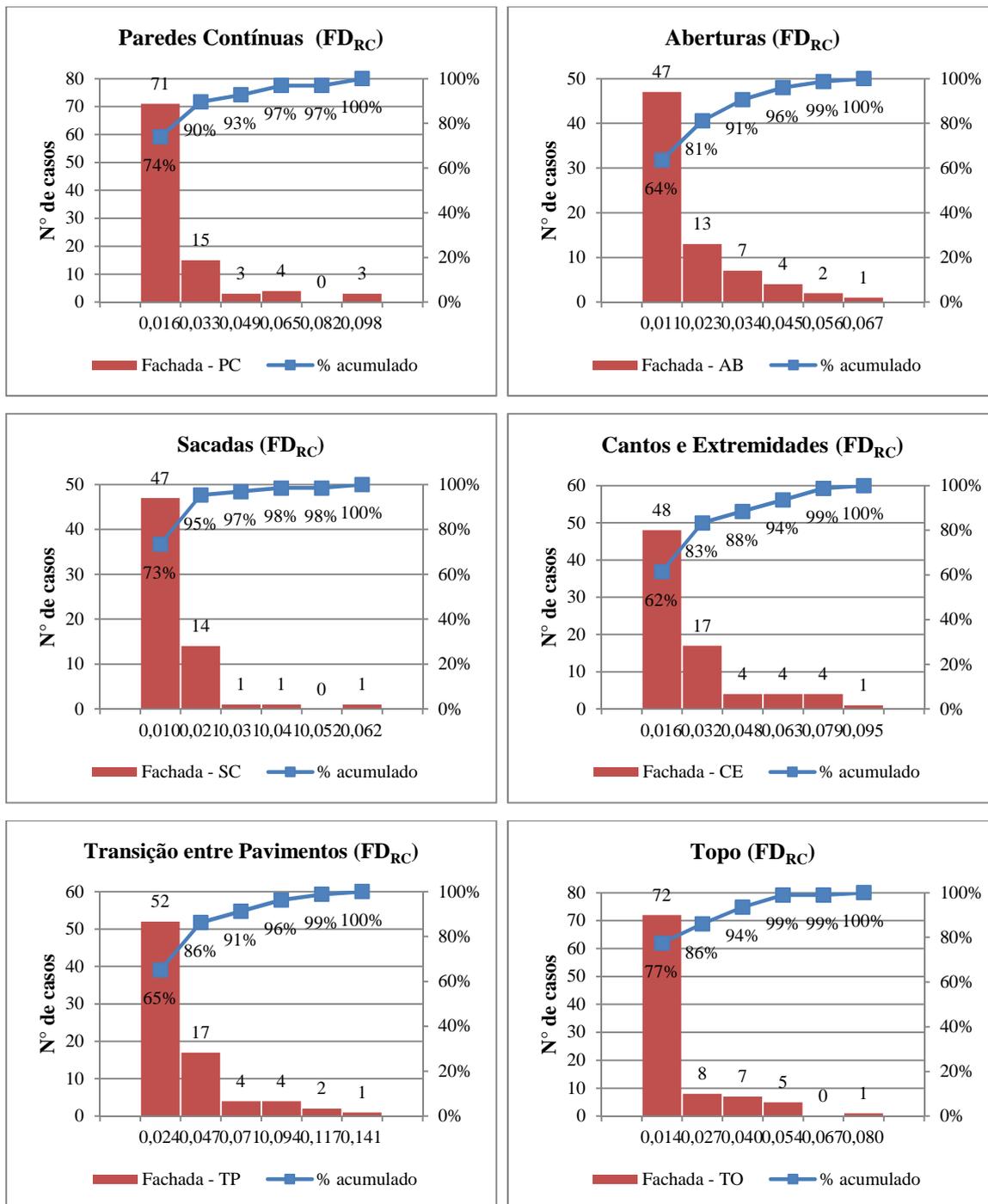


Figura 09 – Histograma referente às Fachada, do grupo de análise dos elementos de arquitetura.

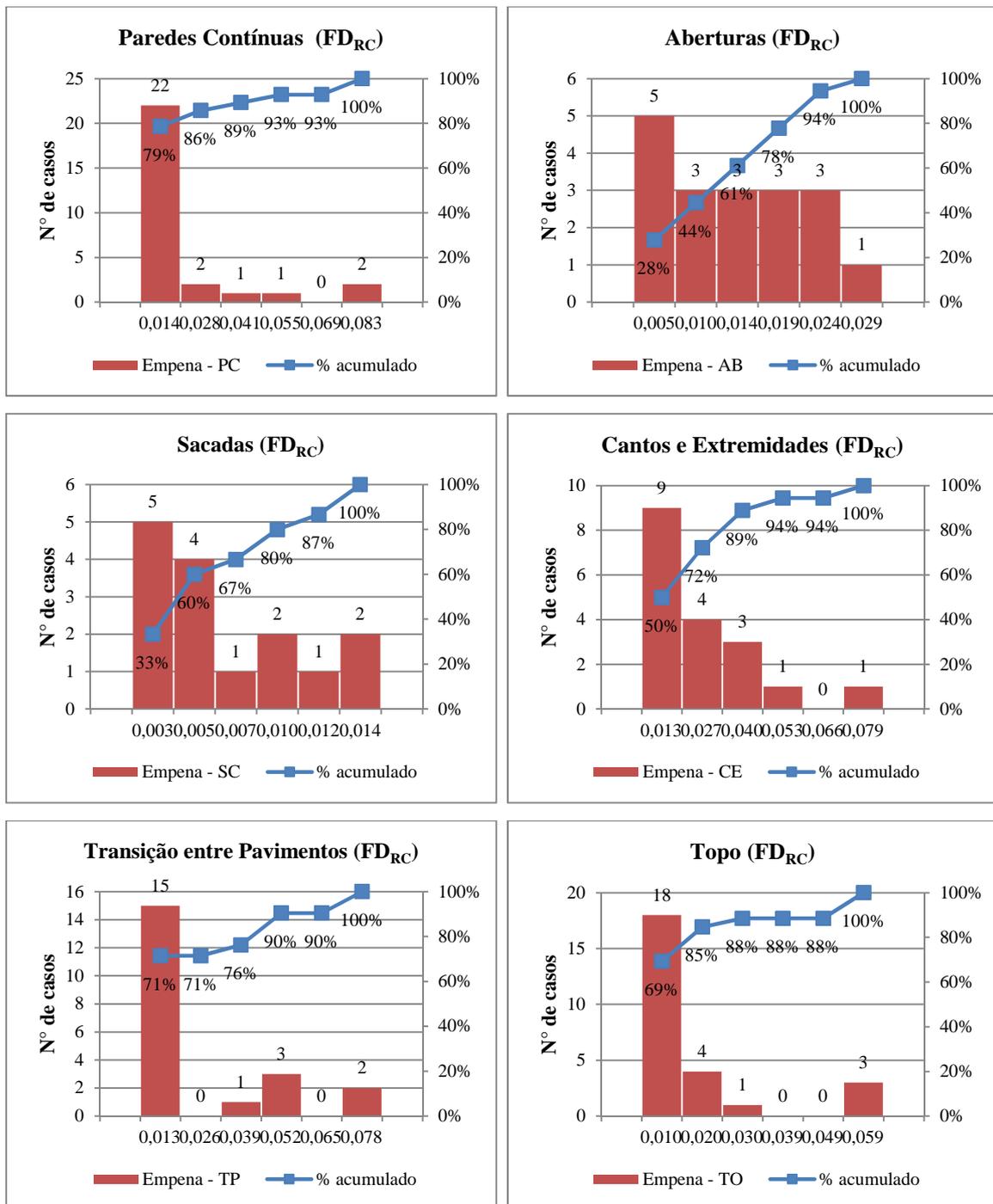


Figura 10 – Histograma referente às Empenas, do grupo de análise dos elementos de arquitetura.

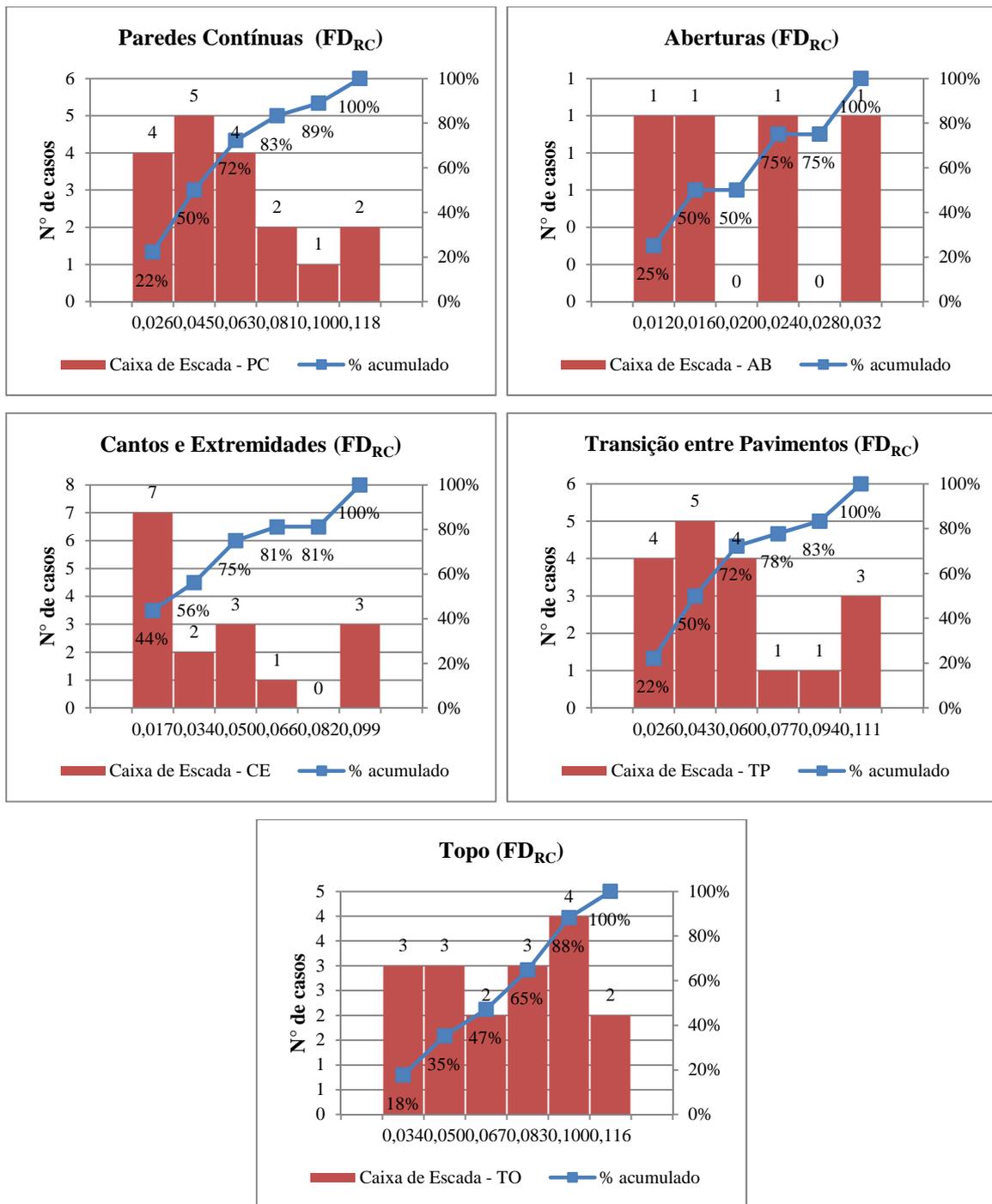


Figura 11 – Histograma referente às Caixas de Escada, do grupo de análise dos elementos de arquitetura.