

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA
ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO
AO CASO DE BRASÍLIA/DF**

MARIA DE NAZARÉ BATISTA DA SILVA

**TESE DE DOUTORADO 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**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA
ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO
AO CASO DE BRASÍLIA/DF**

MARIA DE NAZARÉ BATISTA DA SILVA

ORIENTADOR: ELTON BAUER

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**PUBLICAÇÃO: E.TD - 006A/14
BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2014**

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

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO AO CASO DE BRASÍLIA/DF

MARIA DE NAZARÉ BATISTA DA SILVA

TESE DE DOUTORADO 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 DOUTOR EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Elton Bauer, Doutor (UnB)
(Orientador)

Prof. Cláudio Henrique de A. Feitosa Pereira, Doutor (UnB)
(Examinador Interno)

Profa. Valdirene Maria Silva Capuzzo, Doutora (UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Ângelo Just da Costa e Silva, Doutor (UNICAP)
(Examinador Externo)

Prof. Vasco Peixoto de Freitas, Doutor (FEUP-Portugal)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 08 DE DEZEMBRO DE 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, MARIA DE NAZARÉ BATISTA DA

Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada –
Aplicação ao Caso de Brasília/DF [Distrito Federal] 2014.

xviii, 198 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutora, Estruturas e Construção Civil, 2014).
Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachada

3. Degradação

I. ENC/FT/UnB

2. Revestimento cerâmico

4. Vida útil

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, M. N. B. (2014). Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-006A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Maria de Nazaré Batista da Silva.

TÍTULO: Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF.

GRAU: Doutora

ANO: 2014

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

Maria de Nazaré Batista da Silva
Rua XXII, Qd. K-3, Nº 353, Cambará.
69311-480 Boa Vista – RR – Brasil.

Aos meus pais, José e Jurema pelo incentivo e força,
minha mais profunda e eterna gratidão
Ao meu filho Gerson, pelo incentivo, apoio,
compreensão, carinho e amor
Ao meu neto Gerson Júnior.
Aos meus irmãos, pelo carinho e força

E principalmente,
a DEUS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus. A minha fé me manteve firme porque sempre acreditei que Deus, na sua infinita grandeza, sabia exatamente como guiar meus passos e permitir que eu vencesse mais esse desafio. Ao meu orientador Prof. Elton Bauer, pela dedicação e paciência. Agradeço ainda a Profa. Eliane Kraus e todos os professores do PECC-UnB pelos aprendizados e a oportunidade de adquirir novas experiências.

Minha gratidão a toda equipe de funcionários da UnB que contribuem diariamente para que possamos desenvolver nossas pesquisas, sobretudo a Eva Veloso, secretária do programa, aos amigos Washington, Patrícia, Severino, Layse, Gilvan, Ramón, Phelipe com quem convivi e dividi muitas alegrias do LEM. Um agradecimento especial à Gilmara e Damiana, pessoas muito especiais. Meu muito obrigado às amigas Ednaide e Ednalva.

Aos que compartilharam comigo toda a experiência durante o doutorado e que de alguma forma também colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho: Lyssya, Vanda, Maria Cláudia, Marília, Elaine, Alejandro Rojas, Carlos Mariano, Márcia, Wilber, Chaira, Fernanda, Henrique Jr, Jorge, Juliano, Ramon, Silvano, Virley e Wallison. De forma especial agradeço a Nailde, Dyorgge, Eneida, Morgana e Wagner, amigos mais que especiais com quem em todos os momentos de alegria ou dificuldade pessoas com quem eu sempre pude e posso contar. Um agradecimento especial a Elier pela participação direta na análise estatística.

O reconhecimento às pessoas externas que contribuíram com este presente estudo: Prof. Jorge de Brito e Pedro Gaspar – do Instituto Superior Técnico (IST) de Portugal, pelo incentivo e material bibliográfico.

À Profa. Michele, por ceder o uso da planilha TCPO *on line*. Ao Prof. Guilherme, por disponibilizar a publicação CEB FIB, utilizada nesta pesquisa.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM-UnB), pelo acervo de amostras.

À CAPES (PRODOUTORAL) pela concessão de bolsa.

RESUMO

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO AO CASO DE BRASÍLIA/DF

Autor: Maria de Nazaré Batista da Silva

Orientador: Elton Bauer, Dr.

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Dezembro de 2014

Existe uma necessidade de esclarecimentos de dúvidas acerca da evolução das manifestações patológicas e sua influência no desempenho e vida útil das fachadas. Estes aspectos ressaltam a importância do desenvolvimento de estudos que visem subsidiar a durabilidade e vida útil das fachadas com revestimento em elementos cerâmicos. Neste sentido, o objetivo deste estudo consiste em apresentar uma metodologia de quantificação das anomalias e ainda uma proposta de modelo de cálculo da degradação e vida útil das fachadas de edifícios. A metodologia proposta consiste em uma sistematização do processo de mapeamento e quantificação das manifestações patológicas em uma amostra de 90 fachadas de edifícios com revestimento em elementos cerâmicos. A amostragem é composta por fachadas de edifícios situados em Brasília com idades na faixa de 5 a 36 anos. A metodologia permite estabelecer o comportamento da extensão da degradação em função da idade, orientação, região e altura das fachadas através Fator de Danos (FD), bem como permite determinar a intensidade de manifestação patológica em diferentes regiões das fachadas (paredes contínuas, aberturas, sacadas, cantos e extremidades, juntas, transição entre pavimentos e topo). Os resultados mostraram elevado Fator de Dano de descolamento cerâmico indicando que essa manifestação patológica é mais evidente devido aos fatores de degradação. Os resultados ainda mostraram que os valores mais elevados dos fatores de danos foram observados nas fachadas Oeste e Norte, bem como nas fachadas com idade acima de 10 anos. Os resultados mostraram também que os danos ocorrem com maior frequência na região das paredes contínuas e maior Fator de Dano (extensão) na região da transição entre pavimentos. Este estudo visou contribuir com a necessidade de sistematização da identificação, classificação e quantificação da degradação e estimativa da vida útil das fachadas com revestimento cerâmico situadas em Brasília, no Distrito Federal.

Palavras chaves: Fachada, Revestimento cerâmico, Degradação, Vida útil.

ABSTRACT

QUANTITATIVE EVALUATION OF DEGRADATION AND SERVICE LIFE OF FACADE COATINGS – APPLICATION TO BRASILIA/DF’S CASE

Author: Maria de Nazaré Batista da Silva

Advisor: Elton Bauer, Dr.

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasilia, December of 2014

There is a need for clarifying doubts about the evolution of pathological manifestations and their influence on the performance and service life of facades. These issues highlight the importance of conducting studies aimed at subsidizing the durability and service life of facades ceramic tile. In this sense, the objective of this study is to present a methodology for quantifying anomalies as well as a proposed model for calculating the degradation and service life of building's facades. The proposed methodology consists of a systematization of the mapping and quantification process of pathologies in a sample of 90 building facades with ceramic tile. The sample consists of building facades in Brasilia with ages ranging 5-36 years. The methodology allows to establish the behavior of the extent of degradation due to age, orientation, region and height of facades through Damage Factor (DF), as well as to determine the intensity of pathologies in different regions of the facades (continuous walls, openings, balconies, corners and edges, joints, transition between floors and top). The finding showed high damage ceramic decoupling factor indicating that this pathologies is more evident due to degradation factors. The findings also showed that the highest Damage Factors values were observed in western and northern facades, as well as the facades over 10 years. The findings have also shown that the damage occurs most frequently in the region of continuous wall and greater Damage Factor (extension) in the transition region between floorings. This study intended to contribute to the need for a systematic identification, classification and quantification of degradation and the estimated service life of facades with ceramic tile located in Brasília, the Federal District of Brazil.

Keywords: Facade, Ceramic tile, Degradation, Service life.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	4
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivos gerais.....	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	ESTRUTURA DA TESE	13
2	VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS – FACHADAS	15
2.1	SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADAS	16
2.1.2	Evolução do sistema de revestimento cerâmico de fachada de edifícios de Brasília-DF.....	17
2.2	VIDA ÚTIL, DESEMPENHO, MANUTENÇÃO E DURABILIDADE DAS FACHADAS.....	17
2.2.1	Vida útil.....	17
2.2.2	Desempenho	21
2.2.3	Manutenção.....	22
2.2.4	Durabilidade	24
2.3	DEGRADAÇÃO EM VEDAÇÕES VERTICAIS – FACHADAS	26
2.3.1	Falha, dano e manifestações patológicas	27
2.3.2	Fatores e mecanismos de degradação	29
2.3.3	Condições de exposição.....	30
2.3.3.1	Condições climáticas da região de estudo – Brasília-DF	31
2.3.3.2	Variações térmicas	36
2.3.3.3	Ação da chuva.....	37
2.3.3.4	Influência da umidade em fachadas	39
2.3.4	Patologias comuns em fachadas	40
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	52
3	MODELOS DESENVOLVIDOS PARA O ESTUDO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS	55
3.1	MODELO PROPOSTO POR SHOHEIT <i>et al</i> (1999)	55

3.2	MODELO PROPOSTO POR GASPAR E BRITO (2008) E GASPAR E BRITO (2011)	57
3.2.1	Curvas de degradação	58
3.2.2	Nível Geral de Degradação (NGD) da fachada.....	59
3.3	MODELO PROPOSTO POR SOUSA (2008)	61
3.4	MODELO PROPOSTO POR SILVA (2009)	63
3.5	MODELO PROPOSTO POR TAGUCHI (2010)	66
3.5.1	Severidade ou nível de gravidade dos danos.....	68
3.5.2	Índice de Performance global ou do conjunto	70
3.6	RESUMO DOS MODELOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE DANOS	73
3.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	73
4	AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO	75
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	77
4.1.1	Coleta de dados e classificação das amostras.....	79
4.1.2	Caracterização e classificação dos danos nas amostras.....	84
4.1.3	Mapeamento de danos das amostras.....	85
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS	91
4.2.1	Quantificação da ocorrência de patologias	92
4.2.2	Cálculo do Fator de Danos (FD).....	92
4.3	ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.....	93
4.3.1	Distribuição do Fator de Danos (FD) das manifestações patológicas	93
4.3.2	Análise do Fator de Danos (FD) – verificação de hipóteses de causas das patologias	94
4.4	ANÁLISE FINAL	95
4.4.1	Modelos de quantificação da degradação	95
4.4.1.1	Modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD)	95
4.4.1.2	Modelo baseado no Fator de Danos Combinado (FDC)	99
4.4.1.3	Modelo baseado no Método Fatorial de Danos (MFD)	100
4.5	PROPOSTA DE MODELO DE ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL	104
4.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	104
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	106

5.1	INTRODUÇÃO.....	106
5.2	QUANTIFICAÇÃO DOS FATORES DE DANOS (FD).....	109
5.2.1	Influência do tipo de dano	109
5.2.2	Influência da idade das fachadas	118
5.2.3	Influência da orientação cardinal das fachadas	124
5.2.4	Influência da altura da fachada na ocorrência do dano.....	130
5.2.5	Influência da região de análise da fachada	135
5.2.5.1	Influência da ocorrência de patologias nas regiões de análise das fachadas.....	135
5.2.5.2	Análise dos fatores de danos (FD) relativos das regiões	139
5.2.6	Influência das empenas das fachadas.....	141
5.2.7	Considerações sobre o Capítulo	143
5.3	MODELOS PARA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL MÍNIMA.....	147
5.3.1	Modelos de curvas de degradação em fachadas com revestimento cerâmico	149
5.3.2	Estimativa de vida útil mínima de fachadas com revestimento cerâmico.....	155
5.3.3	Considerações sobre o Capítulo	157
5.4	PROPOSTA METODOLÓGICA DE ACOMPANHAMENTO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADA DE EDIFÍCIO	158
5.4.1	Considerações sobre o Capítulo	161
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	162
6.1	CONCLUSÕES DA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FATORES DE DANOS NO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO.....	162
6.2	CONCLUSÕES DA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DAS FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO.....	164
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	167
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	168
APÊNDICE A	183
A.1	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS	183
A.1.1	Ficha de edifícios vistoriados.....	183

APÊNDICE B.....	186
B.1 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FACHADAS.....	186
APÊNDICE C	188
C.1 MODELOS DE SOBREPOSIÇÃO DE MALHA EM MAPEAMENTO	188
APÊNDICE D	191
D.1 PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO.....	191
APÊNDICE E.....	192
E.1 RESULTADOS DOS FATORES DE DANOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA	192

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Distribuição dos sinistros analisados e do custo dos trabalhos de reparação correspondentes em função do elemento construtivo (ALVES, 2008).....	5
Figura 1.2 – Principais fatores envolvidos no desempenho em serviço do edifício (FLORES-COLEN, 2009).....	6
Figura 1.3 – Distribuição percentual de patologias em edifícios com 10 anos e 40 anos (adaptado de Bauer <i>et al.</i> , 2010).....	8
Figura 2.1 – Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1:2013)	19
Figura 2.2 – Influência das atividades de manutenção no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis (adaptado de Takata <i>et al.</i> , 2004)	24
Figura 2.3 – Gráfico com as principais patologias observadas incluindo a quantidade de edifícios em que a ocorrência foi verificada (MANSUR, 2007).....	27
Figura 2.4 – (a) Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro e (b) Mapa com destaque à zona 4 onde se enquadra a cidade de Brasília-DF (ABNT NBR 15220-3:2005).....	32
Figura 2.5 – Gráfico climatológico de temperatura média mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).	33
Figura 2.6 – Gráfico climatológico de insolação mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).....	33
Figura 2.7 – Gráfico climatológico de umidade mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).....	34
Figura 2.8 – Mapa brasileiro de temperatura média compensada anual – período 1961-1990 (INMET, 2013).....	36
Figura 2.9 – Manchas no revestimento cerâmico (LEM- UnB, arquivo fotográfico).	39
Figura 2.10 – Fissuras em revestimento cerâmico (LEM- UnB, arquivo fotográfico).....	41
Figura 2.11 – Descolamento de placas cerâmicas (LEM- UnB, arquivo fotográfico).	45
Figura 2.12 – Região de deslocamento de elementos cerâmicos (LEM- UnB, arquivo fotográfico).....	46
Figura 2.13 – Falha na junta (LEM-UnB, arquivo fotográfico).....	48
Figura 2.14 – Falha de rejunte (LEM-UNB, arquivo fotográfico).....	49
Figura 2.15 – (a) Eflorescências e (b) Manchas nas fachadas com revestimento cerâmico.	50
Figura 2.16 – Detalhe de falha de vedação (LEM- UnB, arquivo fotográfico).....	51

Figura 2.17 – Detalhe de cerâmica gretada (LEM- UnB, arquivo fotográfico).	51
Figura 3.1 – Curvas de degradação (adaptado de Shohet <i>et al</i> (1999) e Gaspar (2009)).	59
Figura 3.2 – Diagrama de dispersão e curva de degradação média de 100 resultados de campo, expressando o Nível Geral de Degradação (NGD) ao longo do tempo (GASPAR; BRITO, 2011).	60
Figura 3.3 – Curva de degradação com o valor da severidade da degradação ($S_{w,rp}$) obtida a partir de cento e vinte casos analisados no trabalho de campo (SILVA, 2009).	66
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia adotada neste estudo.	76
Figura 4.2 – Mapa de Brasília com a identificação dos locais em que as amostras de fachadas utilizadas neste estudo estão situadas.	81
Figura 4.3 – Identificação da prumada e empena em uma amostra de fachada.	82
Figura 4.4 – Identificação das mostras de edifícios com revestimento cerâmico utilizadas no presente estudo.	83
Figura 4.5 – Imagem com localização e detalhe da amostra ER-011.	85
Figura 4.6 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas.	86
Figura 4.7 – Orientação da amostra de fachada ER-011 (56° L).	86
Figura 4.8 – Divisão da amostra de fachada (ER – 011) em quatro prumadas (P-1, P-2, P-3 e P-4) entre as juntas de movimentação estrutural.	87
Figura 4.9 – Representação esquemática das regiões de análise tipo numa fachada (Adaptado de Gaspar e Brito (2008) e Antunes (2010)).	88
Figura 4.10 – Esquema de mapeamento de danos (a) e sobreposição de malha nos mapeamentos das fachadas analisadas com detalhe de uma unidade de área de dano. ...	90
Figura 4.11 – Detalhe do posicionamento recuado dos pilares dos edifícios de Brasília. ...	90
Figura 5.1 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos Total das amostras de fachadas.	112
Figura 5.2 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de descolamento cerâmico em amostras de fachadas.	113
Figura 5.3 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de falha de rejunte em amostras de fachadas.	114
Figura 5.4 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de fissuras em amostras de fachadas.	115

Figura 5.5 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de eflorescências em amostras de fachadas.	116
Figura 5.6 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de falha de vedação em amostras de fachadas.	117
Figura 5.7 – Curva representativa do comportamento dos resultados dos Fatores de Danos.	117
Figura 5.8 – Fator de Dano Total considerando todas as manifestações patológicas (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) em função da idade para 90 amostras de estudo.	120
Figura 5.9 – Fator de Dano das manifestações patológicas de descolamento cerâmico e fissuras em função da idade das amostras de estudo.	121
Figura 5.10 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função de faixas de idade das amostras de fachadas.	123
Figura 5.11 – Fator de Dano Total em função da orientação das amostras de estudo.	125
Figura 5.12 – Fator de Dano em função da orientação das amostras de estudo.	126
Figura 5.13 – Fator de Dano em função da orientação das amostras de estudo.	128
Figura 5.14 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função da orientação das amostras de fachadas.	129
Figura 5.15 – Distribuição da porcentagem de ocorrência de danos nos andares das amostras de fachadas.	131
Figura 5.16 – Fator de Danos médio em função da idade e posição do andar das amostras de fachadas.	133
Figura 5.17 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função do andar (altura) das amostras de fachadas.	134
Figura 5.18 – Distribuição da porcentagem de ocorrência de danos em regiões das amostras de fachadas.	136
Figura 5.19 – Resultado dos fatores de danos relativos para todas as regiões (paredes contínuas-PC, aberturas-AB, sacadas-SA, cantos e extremidades-CE, juntas entre pavimentos-JP, transição entre pavimentos-TP e topo-TO) analisadas em amostras de fachadas.	139
Figura 5.20 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função da região de análise.	141

Figura 5.21 – Relação entre os fatores de danos em prumadas e empenas nas amostras de estudo.	142
Figura 5.22 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função das prumadas-empenas das amostras.	143
Figura 5.23 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos (FGD).	150
Figura 5.24 – Detalhe das curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos (FGD).	151
Figura 5.25 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado (FDC).	152
Figura 5.26 – Detalhe das curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado (FDC).	152
Figura 5.27 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos (MFD).	153
Figura 5.28 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos (MFD).	154
Figura 5.29 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Fator Geral de Danos (FGD).	156
Figura 5.30 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Método Fatorial de Danos (MFD).	157
Figura 5.31 – Curvas para acompanhamento da evolução da degradação das fachadas utilizando o Fator Geral de Danos (FGD).	159
Figura 5.32 – Fluxograma da metodologia de análise da evolução da degradação e estimativa de vida útil das fachadas com revestimento cerâmico.	160
Figura 5.33 – Exemplo de utilização prática do modelo de cálculo de degradação (MAP) nas curvas para acompanhamento da evolução da degradação das fachadas utilizando o Fator Geral de Danos Total (FGD-Total).	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Exigências do usuário (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013)	19
Tabela 2.2 – Vida útil de projeto e níveis de desempenho mínimo (M) e superior (S) de sistema de revestimento (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013).....	22
Tabela 2.3 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996, John <i>et al.</i> (2002) e Consoli (2006)).	35
Tabela 2.4 – Agentes de degradação da procedência (adaptado da ASTM 632:1996, John <i>et al.</i> (2002) e Consoli (2006)).	35
Tabela 3.1 – Classe de severidade (GASPAR, 2005; TAGUCHI, 2010).	68
Tabela 3.2 – Grau de danos (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).	69
Tabela 3.3 – Extensão dos danos (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).	69
Tabela 3.4 – Urgência de intervenção (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).....	70
Tabela 3.5 – Classe de deterioração (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).....	71
Tabela 3.6 – Resumo dos modelos de cálculo, em geral, utilizados para análise de degradação e vida útil de edifícios.	73
Tabela 4.1 – Características das amostras de edifícios com identificação por edifício, idade, quantidade de andar, prumada, empena e total de amostras por edifício.	82
Tabela 4.2 – Modelo de ficha para quantificação de patologias por prumada, empena, orientação, andar, tipo de manifestação patológica e tipo de região de análise para uma amostra de fachada.	89
Tabela 4.3 – Valores de ponderação das regiões de fachadas.	91
Tabela 4.4 – Níveis de degradação dos revestimentos de fachada (adaptado de Bordalo <i>et al.</i> , 2010 e Bordalo <i>et al.</i> , 2011).	98
Tabela 4.5 – Valores das variáveis consideradas no exemplo de cálculo do FGD da amostra de fachada ER-009(PS1).	99
Tabela 4.6 – Classe de gravidade do dano (adaptado do FIB (1998) e de Taguchi (2010)).	103
Tabela 5.1 – Tabela com os dados estatísticos dos Fatores de Danos das amostras de fachadas.	110
Tabela 5.2 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função de faixas de idade.	122

Tabela 5.3 – Resultados do Teste de Duncan para as amostras de fachadas em função de quatro faixas de idade.	122
Tabela 5.4 – Valores dos fatores de danos médios para as quatro orientações das amostras.	124
Tabela 5.5 – Resultados da ANOVA para as amostras em função da orientação das fachadas de edifícios de Brasília.....	128
Tabela 5.6 – Fator de Danos médio nos andares das amostras de fachadas.	132
Tabela 5.7 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função do andar (altura).....	134
Tabela 5.8 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função da região de análise.....	140
Tabela 5.9 – Resultados do Teste de Duncan para as amostras de fachadas em função das regiões.	140
Tabela 5.10 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função das prumadas (P) e empenas (E).....	142
Tabela 5.11 – Tabela com as frequências e porcentagens de ocorrência dos Fatores de Danos das amostras de fachadas.....	144
Tabela 5.12 – Maiores valores dos fatores de danos observados na distribuição da frequência de ocorrência.	145
Tabela 5.13 – Maior valor do Fator de Danos em função da orientação das fachadas.....	146
Tabela 5.14 – Maior valor do Fator de Danos Relativo em função da região de ocorrência de danos nas fachadas.	146

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AB	- Aberturas (janelas)
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- American Society for Testing and Materials
CIB	- CIB - Conseil International du Bâtiment
EPU	- Expansão por umidade
FC	- Fator de Correção
FD	- Fator de Danos
FDC	- Fator de Danos Combinado
FDR	- Fator de Danos Relativo
FGD	- Fator Geral de Danos
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IP	- Índice de performance
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LEM	- Laboratório de Ensaio de Materiais
MFD	- Método fatorial de danos
NBR	- Norma Brasileira
NGD	- Nível de Geral de Degradação
PECC	- Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil
RILEM	- Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherche Sur Les Matériaux et les Constructions
$S_{w,rp}$	- Severidade da degradação
SBTA	- Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas
SRF	- Sistema de Revestimento de Fachada
UnB	- Universidade de Brasília
UFG	- Universidade Federal de Goiás
UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Y	- Previsão de vida útil (Método fatorial)
Σ	- Somatório

1 INTRODUÇÃO

As vedações externas ou fachadas constituem a envoltória vertical de proteção das edificações atuando como a primeira barreira para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos. O desempenho dos sistemas de revestimentos está diretamente relacionado à aderência e ao comportamento diferenciado entre cada camada desse sistema aos esforços de natureza mecânica, química, física, biológica, das ações das intempéries ou no decorrer do tempo. A ação do tempo é crucial, tendo em vista que todo elemento sofre um processo de degradação. Contudo, esse processo pode ser acelerado ou reduzido dependendo das condições de exposição e critérios de manutenção.

Neste contexto, Consoli (2006), Souza (2008) e Gaspar (2009) complementam que as diversas ações causadas pelo tempo e o próprio desgaste proporcionam o surgimento de algumas patologias. Identificar essas patologias em edificações, entender suas origens e causas possibilitam ações preventivas e corretivas eficazes durante o projeto e execução de uma obra. O conhecimento das incidências das patologias contribui para a melhoria contínua dos processos construtivos, na medida em que as informações sobre as mesmas são tratadas e divulgadas.

Para que os sistemas de revestimentos apresentem desempenho aceitável quando submetido à ação direta das intempéries, como a variação de temperatura, chuva dirigida, dentre outras, em conjunto com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais componentes, faz-se necessário efetuar estudos comparativos do comportamento em uso frente às diversas variantes que condicionam o surgimento e a evolução das patologias em fachadas de edificações, mais especificamente, fachadas com revestimento cerâmico.

Para contribuir com estudos que promovam melhor compreensão dos fenômenos de origem e evolução da degradação em fachadas, o presente estudo propõe uma metodologia de análise do comportamento da degradação em fachadas com revestimento cerâmico de edifícios situados em Brasília-DF. O presente estudo busca desenvolver uma proposta metodológica para avaliar quantitativamente a evolução da degradação nos sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios localizados em Brasília. Para tanto, faz

uso do banco de dados de vistorias e inspeções de patologias de fachadas realizadas pelo Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília – LEM-UnB.

Este estudo se encontra inserido na 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). Destacam-se algumas contribuições em pesquisas nessa linha:

- ✓ Saraiva (1998), com estudo numérico e experimental das tensões de natureza térmicas em sistemas de revestimento de fachadas com revestimento cerâmico;
- ✓ Silva (2000), com estudo numérico também abordando as tensões de natureza térmicas em sistemas de revestimento de fachadas com revestimento cerâmico;
- ✓ Antunes (2010), com o estudo de identificação e sistematização da incidência das manifestações patológicas em sistema de revestimento de fachadas de Brasília;
- ✓ Córdoba (2012), com estudo envolvendo o levantamento fotogramétrico de monumentos arquitetônicos para projeto de restauração. Essa pesquisa mostrou avanço na metodologia de levantamento das manifestações patológicas.
- ✓ Costa (2014), com o estudo de identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica.

Citam se outras pesquisas em nível de mestrado e doutorado desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília:

- ✓ Sousa (2001) - Contribuição ao Estudo da Relação entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto - Aplicação ao Uso de Entulho como Agregado Reciclado
- ✓ Alves (2002) - Avaliação dos Aditivos Incorporadores de Ar em Argamassas de Revestimento..
- ✓ Santos (2003) - Critérios de Projetabilidade para as Argamassas Industrializadas de Revestimento Utilizando Bomba de Argamassa com Eixo Helicoidal.
- ✓ Leal (2003) - Estudo do Desempenho do Chapisco como Procedimento de Preparo de Base em Sistemas de Revestimento.
- ✓ Do Ó (2004) - Análise da Retenção de Água em Argamassas de Revestimento Aditivadas.

- ✓ Gonçalves (2004) - Variabilidade e Fatores de Dispersão da Resistência de Aderência nos Revestimentos em Argamassa - Estudo de Caso.
- ✓ Araújo Jr (2004) - Contribuição ao Estudo das Propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento.
- ✓ Silva (2006) - Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa.
- ✓ Chagas (2009) - Estudo e Proposta de um Modelo de Resistência à Fadiga de Argamassas de Revestimento em Estado Plano e Tridimensional de Tensões.
- ✓ Paes (2004) - Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-Aplicação.
- ✓ Sousa (2005) - Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco.
- ✓ Pereira (2007) - Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento de Revestimentos à Base de Argamassa.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

No Brasil se tem observado um aumento cada vez maior de edifícios com problemas relacionados a um desempenho insatisfatório. O levantamento das manifestações patológicas em edificações e em seus componentes sempre foi objeto de estudos de pesquisadores, pois, conhecendo-as, é possível obter informações sobre suas causas, origens, medidas de recuperação e prevenção (LICHTENSTEIN, 1985; PAES e CARASEK, 2002; FLORES-COLEN, 2009; MANSUR *et al.*, 2006; GASPAR, 2009; ANTUNES, 2010; NIKZAD *et al.*, 2011).

Nos últimos anos o setor da construção civil do Brasil tem demonstrado especial preocupação em executar edificações com elevado potencial de durabilidade. Esta tendência vem sendo alcançada através de avanços na ciência e na tecnologia dos materiais, no nível de desenvolvimento dos projetos de engenharia e da mão de obra responsável pela construção (GUIMARÃES, 2003; PAES; CARASEK, 2002; MANSUR, 2007). Da mesma forma, cresce também, no cenário internacional, o interesse por pesquisadores em dirimir a redução da durabilidade dos edifícios (LACASSE; SJOSTROM, 2003; LACASSE; SJOSTROM, 2004; DANIOTTI; CECCONI, 2010).

Mais especificamente, no que se refere às fachadas, Consoli (2006) ressalta que, em virtude da ocorrência de patologias, a maioria dos revestimentos não proporciona um desempenho que garanta uma vida funcional longa para as mesmas. Neste sentido, o estudo das patologias fornece informações capazes de promover reflexões sobre alguns problemas da engenharia com relação à resistência, manutenibilidade e estética das obras.

Ressalta-se que, a partir de uma abordagem estatística de seu estudo, Alves (2008) constatou que as fachadas apresentaram a maior frequência de problemas patológicos quando comparado com outros elementos do edifício. Alves (2008) observou também que os defeitos de execução foram responsáveis pela maior parte desses problemas e verificou ainda que erros de concepção geram custos de reparação duas vezes e meia mais onerosa do que a reparação de qualquer outro tipo de problema (Figura 1.1).

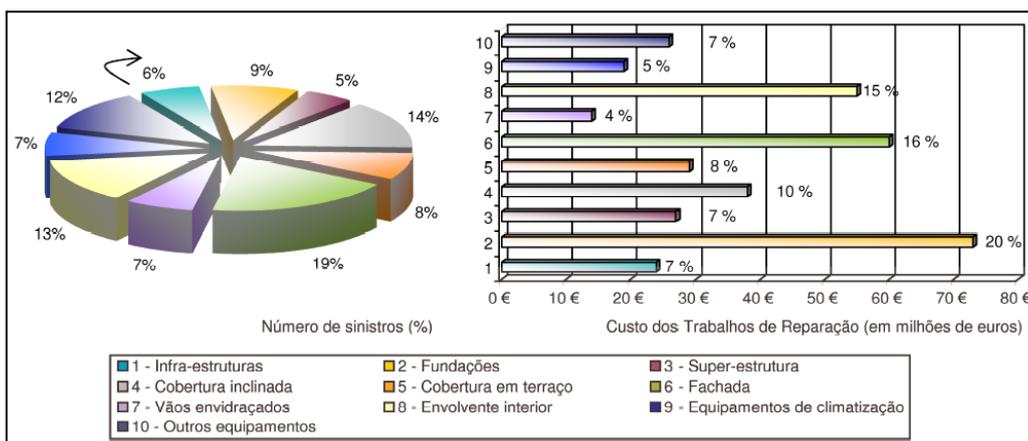


Figura 1.1 – Distribuição dos sinistros analisados e do custo dos trabalhos de reparação correspondentes em função do elemento construtivo (ALVES, 2008).

Paes e Carasek (2002) alertam para a necessidade do entendimento das causas e mecanismos dos eventuais fenômenos patológicos atuantes em virtude, principalmente, das diferentes características dos materiais utilizados e das condições de exposição. Isto requer suficiente conhecimento científico e tecnológico do conjunto, fazendo-se necessários estudos e pesquisas em torno desses fenômenos.

Gaspar *et al.* (2006) destacam que as edificações são sistemas complexos e heterogêneos e que assim estão sujeitas a comportamentos diferenciados que podem afetá-las como um todo ou às suas partes. Quando o comportamento diferenciado de suas partes ultrapassa a capacidade de resistência dos elementos e componentes afetados, ocorre a fratura provocando a degradação do sistema.

A grande incidência de manifestações patológicas em sistemas construtivos e especificadamente em revestimentos de fachadas é notória, apesar dos avanços tecnológicos na construção civil, causando desconforto físico e estético aos usuários e, dessa maneira, vem estimulando pesquisas que visem entender o comportamento das variáveis que interferem no surgimento das diversas patologias em fachadas. Surge a necessidade de estudos que permitam desenvolver metodologias alternativas que possam estabelecer parâmetros e índices para caracterizar e diagnosticar de forma mais eficiente as patologias comuns em fachadas.

Para que os sistemas de revestimentos apresentem desempenho aceitável quando submetidos à ação direta das intempéries, como a variação de temperatura, chuva dirigida,

dentre outras, em conjunto com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais componentes, faz-se necessário efetuar estudos comparativos do comportamento em uso frente às diversas variantes que condicionam as patologias em fachadas de edificações.

Com o intuito de contribuir para edificações com desempenho aceitável, estudos e pesquisas em âmbito nacional e internacional vêm sendo realizados com o intuito de gerar novos procedimentos metodológicos que promovam melhor compreensão do comportamento dos edifícios frente às condições de exposição e garantam as funções para as quais as edificações são destinadas, ou seja, garantir proteção mecânica, física, térmica, estanque, dentre outras (CAMPANTE, 2001; FLORES-COLEN, 2009; SOUSA, 2008; SILVA, 2009; GASPAR, 2009; TAGUCHI, 2010; ANTUNES, 2010). Torna-se necessário estabelecer metodologias para sistematização dos levantamentos de amostras de campo que forneçam a melhor ferramenta para mapeamento e quantificação das degradações visando promover entendimento dos mesmos de maneira a prevenir sua ocorrência e proporcionar maior eficiência dos sistemas de revestimentos. A necessidade de novas técnicas e procedimentos metodológicos surge para incorporar qualidade, resistência e durabilidade ao sistema de revestimento.

Flores-Colen (2009) ressalta que os principais fatores que afetam o desempenho do edifício e seus elementos (subsistema, componentes, produtos e materiais) se encontram diretamente interligada nas várias fases do processo construtivo (Figura 1.2), sendo dependente dos diversos intervenientes.

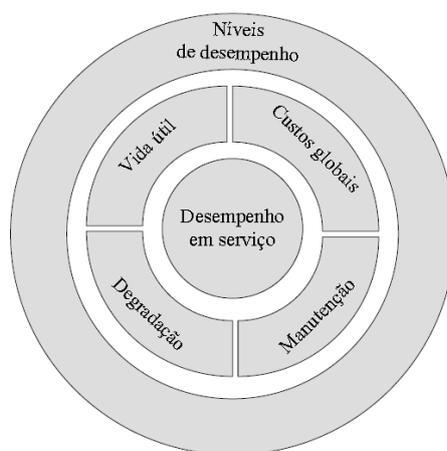


Figura 1.2 – Principais fatores envolvidos no desempenho em serviço do edifício (FLORES-COLEN, 2009).

Neste contexto, a vida útil dos edifícios fica subordinada à influência do comportamento das propriedades dos elementos e dos seus componentes, além da interação entre estes ao longo do tempo (HOVDE, 2004; SILVA *et al.*, 2014). Fachadas que apresentam manifestação patológica principalmente em idades precoces devem ser avaliadas no sentido de verificar quais fenômenos de degradação conduziram à perda de sua funcionalidade e, por conseguinte, provocaram um envelhecimento prematuro em função da vida útil prevista (SILVESTRE; BRITO, 2011).

Diversas pesquisas internacionais realizadas sobre a problemática da degradação em fachadas buscam metodologias que permitam entender o fenômeno (FLORES-COLEN, 2009; SILVESTRE; BRITO, 2011). Outras pesquisas buscam estabelecer métodos de quantificação da degradação e estimativa da vida útil (HOVDE, 2004; MOSER, 2004; GASPAR; BRITO, 2008, SOUZA, 2008; GASPAR, 2009; SILVA, 2009; SILVA, A *et al.*, 2014). A preocupação com os fenômenos de degradação é bastante crescente no cenário internacional.

Sousa (2008) relata que as preocupações e os estudos referentes à durabilidade na construção se expandiram após a publicação de uma metodologia pioneira para a previsão da vida útil, elaborada pelo *Architectural Institute of Japan* – o *Factor Method*. Este método, apesar de ter sido alvo de críticas, teve uma grande aceitação na comunidade científica devido à sua clareza e facilidade de aplicação, mesmos nos casos onde existem poucos dados de base. Com estas mesmas preocupações Gaspar (2009) também propõe uma metodologia para a quantificação da degradação das fachadas e complementa sua pesquisa com a análise da vida útil das fachadas com acabamento em reboco também utilizando o Método Fatorial. As metodologias de análise da degradação e vida útil das fachadas estudadas por Gaspar (2009) se mostraram eficientes na estimativa da degradação e vida útil das fachadas analisadas.

No Brasil se destacam os estudos de casos de manifestações patológicas de revestimentos de fachadas realizados por Bauer *et al.* (2010), Bauer *et al.* (2012), Silva, M. *et al.* (2014), entre outros. Os estudos realizados no Brasil buscam identificar, entender e sistematizar os fenômenos que provocam as manifestações patológicas que surgem nas fachadas.

Esses estudos buscam entender os fenômenos que provocam as manifestações patológicas que surgem nas fachadas. Dentre esses estudos, ressalta-se o trabalho de Bauer *et al.* (2010) que, em pesquisa realizada para determinação das manifestações patológicas em quatro edifícios na cidade de Brasília-DF, identificaram claramente uma diferença no percentual de danos entre os edifícios com 10 anos e 40 anos (Figura 1.3).

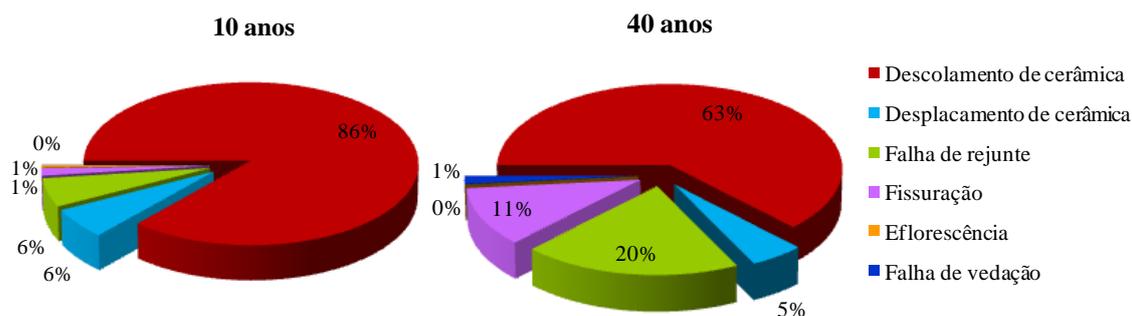


Figura 1.3 – Distribuição percentual de patologias em edifícios com 10 anos e 40 anos (adaptado de Bauer *et al.*, 2010)

Neste estudo em particular, Bauer *et al.* (2010) apresentaram uma análise bastante simples, somente com o levantamento de um índice e o percentual de ocorrência de manifestações patológicas.

Existe, portanto, a necessidade de estudos mais detalhados que permitam avaliar outras variáveis que influenciam os processos de degradação, tais como: as condições ambientais, a orientação da fachada, a gravidade, a localização dos danos e ainda os custos de reparo. Fica evidente, desta maneira, a necessidade urgente de avanços ou sistematização das análises que envolvam a quantificação da degradação das fachadas.

No cenário internacional, destacam-se pesquisas de Flores-Colen (2002), Gaspar e Brito (2005) e Silvestre (2005), com o desenvolvimento de técnicas de inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em argamassa, ferramenta de quantificação e análise da extensão das anomalias em fachadas, entre outros.

Ressalta-se a importância não somente do conhecimento, como também da divulgação das informações acerca das patologias para o avanço da qualidade na construção. Desde 2004, o Grupo de Estudos da Patologia da Construção – PATORREB disponibiliza um banco de

informações através da plataforma criada no site www.patorreb.com. Este site busca catalogar, gerenciar e disponibilizar o maior número de informações possíveis sobre as patologias das construções (ALVES, 2008).

Este grupo é coordenado pelo Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Sete universidades portuguesas participam deste grupo, gerenciando e promovendo a divulgação de material para consulta e pesquisa no que tange às patologias das construções. Já no Brasil, o interesse por divulgação de pesquisas que envolvam as patologias de fachadas ainda é incipiente. São poucos os Congressos que tratam das patologias em fachadas, a maioria está voltada para patologias em estruturas de concreto.

Importante destacar que a ABNT NBR 15575-1:2013 trouxe uma nova visão no que tange aos aspectos relacionados ao edifício, pois coloca em norma conceitos de vida útil, durabilidade, desempenho para o edifício e suas partes que no Brasil eram mais acadêmicos. Antes de 2013 a preocupação com vida útil, desempenho e segurança de edifícios, no Brasil, estava relegada somente para as estruturas de concreto (ABNT NBR 6118:2013). Neste sentido, a ABNT NBR 15575-1:2013 amplia o caráter normativo não somente para um elemento, mas sim para o edifício como um todo, estabelecendo nível de desempenho mínimo ao longo da vida útil dos elementos principais (estrutura, vedações, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura) para todos os edifícios habitacionais. Estabelece, portanto, novos rumos para pesquisas que envolvam o estudo do comportamento da degradação das fachadas e estimativa de vida útil.

No âmbito desta preocupação com o desempenho dos edifícios e suas partes. Cabe destacar que a norma de desempenho atua em conjunto com outras normas, também muito importantes, dentre as quais, cita-se a ABNT NBR 12721:2007, que estabelece critérios para a avaliação de custos unitários, cálculo do rateio de construção, além de outras disposições para condomínios de edifícios; a ABNT NBR 14037:2011, que trata das diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações; a ABNT NBR 5674:2012, que dispõe sobre a gestão da manutenção de edifícios.

No cenário internacional se ressalta a ISO 15686-1:2005 e a ISO 15686-2:2005 que regulamentam sobre o planejamento de vida útil de edifícios. Gaspar (2009) relata uma

preocupação crescente com o estabelecimento de normas que regulem sobre os critérios de durabilidade dos produtos da construção, fato este que culminou na elaboração das normas ISO 15686.

Diversas organizações internacionais participam do comitê de regulamentação, entre os quais CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, RILEM – *International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*, EOTA – *European Organisation for Technical Approvals* e a ASTM – *American Society for Testing and Materials*. A ISO 15686 já conta com 10 partes, das quais apenas as partes 4 e 10 se encontram ainda em discussão (LACASSE E SJÖSTRÖM, 2003 e LACASSE e SJÖSTRÖM, 2004). Estes pesquisadores descrevem sobre o desenvolvimento dos trabalhos realizados pelos comitês. As atribuições de cada parte da norma estão divididas em:

- ✓ ISO 15686-1: *General principles*: define os princípios gerais e os procedimentos a serem adotados na fase de projeto para garantir a durabilidade das construções e ainda uma explanação geral da estimativa da vida útil;
- ✓ ISO 15686-2: *Service life prediction procedures*: apresenta o enquadramento, princípios e metodologia para a estimativa da vida útil; nos métodos recomendados, incluem-se testes de degradação, ensaios de envelhecimento de amostras e levantamentos de campo;
- ✓ ISO 15686-3: *Performance audits and reviews*: define a abordagem e os procedimentos a serem seguidos nas diversas fases da vida útil de uma obra para garantir uma gestão eficiente da vida útil;
- ✓ ISO 15686-4: *Data requirements / data formats*: em elaboração;
- ✓ ISO 15686-5: *Life cycle costing*: guia para o desenvolvimento de modelos de custo, de gestão e de manutenção das construções em função do custo global;
- ✓ ISO 15686-6: *Procedure for considering environmental impacts*: apresenta diretrizes para a determinação do impacto ambiental para diferentes tipos de projeto; relaciona os custos globais ao longo da vida útil com a gestão do edifício no contexto da durabilidade;
- ✓ ISO 15686-7: *Performance evaluation for feedback of service life data from practice*: guia geral para a levantamento de informação relacionada à durabilidade de edifícios em uso;

- ✓ ISO 15686-8: *Reference service life and service life estimation*: descreve a metodologia de aplicação do método fatorial;
- ✓ ISO 15686-9: *Service life declarations*: fornece indicações relativas à compatibilização de produtos da construção em função da durabilidade específica atribuída a cada produto;
- ✓ ISO 15686-10: *Using requirements for functionality and ratings of serviceability during the service life*: em elaboração.

Visando contribuir para edificações com menor índice de patologias, estudos e pesquisas vêm sendo realizados com o intuito de gerar novos procedimentos metodológicos que promovam melhor compreensão do comportamento frente às ações externas e internas e garantam as funções para as quais as edificações são destinadas, ou seja, garantir proteção mecânica, física, térmica, estanqueidade, dentre outras (PAES; CARASEK, 2002). Dessa maneira, torna-se necessário estabelecer metodologias para levantamentos de amostras de campo eficientes que forneçam a melhor ferramenta para gerenciamento e mapeamento das deteriorações que possam promover o entendimento dos mesmos de maneira a prevenir sua ocorrência e promover maior eficiência dos sistemas de revestimentos. A necessidade de novas técnicas e procedimentos metodológicos surge para incorporar qualidade, resistência e durabilidade ao sistema de revestimento.

Diante do exposto, principalmente no Brasil ainda existe uma grande lacuna de pesquisas com enfoque quantitativo da degradação e vida útil das fachadas. Sendo assim, o caráter inovador desta presente pesquisa reside na contribuição para o estudo das patologias em fachadas com enfoque voltado para a quantificação da degradação e estimativa da vida útil das fachadas com revestimento cerâmico. Os estudos da degradação através de propostas de modelos de cálculos permitem acompanhar a evolução da degradação e estimar o limite crítico de desempenho das fachadas com vistas a promover melhores processos de gerenciamento de estoques de edifício, estimativas de seguro, aplicações de manutenção direta, normatização da manutenção e vida útil.

Para chegar a um modelo prático para a estimativa de vida útil das fachadas houve a necessidade de efetuar fortes adaptações aos modelos utilizados por outros pesquisadores (SOUSA, 2008; GASPAR, 2009; BORDALO *et al.*, 2010; TAGUCHI, 2010; BORDALO *et al.*, 2011). Esta pesquisa envolveu o estabelecimento de ponderações entre os danos em

função dos custos de reparos e ainda foi necessário estabelecer critérios de escolha da malha a partir de diversas simulações e uma nova sistemática para o tratamento de dados.

Outro ponto inovador apresentado nesta pesquisa consiste na apresentação de um modelo prático para a estimativa da vida útil, inclusive com uma projeção para edifícios até 60 anos. Este estudo visa contribuir com um modelo de curva de degradação que facilite a tomada de decisão quanto à necessidade ou não de reparos em fachadas de maneira a reduzir custos e o conseqüente impacto ambiental, critérios importantes na avaliação da vida útil das fachadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

O objetivo geral consiste em estudar a degradação das fachadas de forma quantitativa, a partir de levantamentos e mapeamentos de campo, de modo a quantificar a influência dos principais fatores de degradação ao longo do tempo, e propor uma modelação de vida útil.

1.2.2 Objetivos específicos

A partir da sistematização das amostras de fachadas com revestimento cerâmico, como objetivos específicos, pretende-se:

- Definir uma amostra de fachadas e estabelecer rotinas e metodologias para o levantamento, mapeamento e quantificação das manifestações patológicas;
- Estabelecer hipóteses e verificar sua fundamentação em função da condição das amostras de fachadas;
- Definir indicadores e índices de quantificação de danos em fachadas;
- Identificar e adaptar metodologias de quantificação da degradação das fachadas;

- Aplicar os procedimentos de quantificação da degradação nas amostras de fachadas;
- Associar os resultados observados em relação aos principais agentes de degradação das fachadas com revestimento cerâmico;
- Propor um modelo de curva de degradação que permita estabelecer faixa de vida útil mínima e máxima;
- Propor um modelo de curva de degradação que permita estabelecer padrões de evolução da degradação para em fachadas.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta a introdução, destacando o contexto e a justificativa que conduziram este estudo onde também se ressalta o caráter ineditismo do tema abordado. Apresenta-se também o objetivo e a estruturação da Tese.

A revisão bibliográfica é abordada no Capítulo 2, onde consta a fundamentação teórica sobre o sistema de revestimento de fachada, com apresentação de conceitos e generalidades de fatores que causam problemas nas fachadas. Apresentam-se tipos de ações sobre a fachada, os conceitos sobre vida útil, desempenho, manutenção e durabilidade das fachadas. Faz-se uma abordagem sobre a degradação das fachadas, com apresentação de conceitos sobre falha, dano e manifestação patológica, dos mecanismos de degradação, das condições de exposição e caracteriza os tipos de patologias comumente observadas em fachadas com revestimento cerâmico.

O Capítulo 3 apresenta algumas pesquisas realizadas no âmbito da quantificação da degradação em fachadas, elencando os estudos de pesquisadores que foram a fonte de referência para o desenvolvimento do tema deste presente estudo.

O Capítulo 4 aborda a metodologia, bem como as atividades realizadas para alcançar os objetivos propostos neste presente estudo. São apresentadas concepções de sistematização

da quantificação de danos de descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação, bem como o tratamento dos dados. Apresentam-se os modelos de cálculo da degradação propostos e a forma de avaliação da extensão desses danos nas fachadas, dos modelos de degradação e estimativa da vida útil. Por último, apresenta-se uma proposta para utilização prática de um modelo de análise da vida útil de fachadas com revestimento cerâmico.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia. As análises são abordadas com o objetivo de tentar elucidar algumas dúvidas sobre os diversos fatores de influência do processo de degradação das fachadas. As análises são complementadas com abordagem em torno do comportamento das curvas de degradação e ainda mostra os resultados práticos de aplicação de um modelo padrão para análise de estimativa de vida útil em edifícios de Brasília-DF.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais obtidas deste presente estudo e as sugestões para a abordagem do tema em pesquisas futuras.

No Capítulo 7, apresenta-se a bibliografia principal da pesquisa. Por último se apresenta os apêndices com informações complementares utilizadas nesta pesquisa.

2 VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS – FACHADAS

A segurança, estabilidade e conforto dos usuários constituem elementos essenciais para projetos das vedações verticais externas, as quais devem apresentar padrões aceitáveis de comportamento frente às solicitações, quer sejam ambientais, biológicas, mecânicas, físicas ou químicas. A fachada da edificação forma a primeira barreira contra os agentes externos agressivos como insolação, chuva e outros. Para tanto pode ser constituída por uma camada de revestimento composta por diversos materiais, como argamassa de reboco, cerâmica, pedra natural, porcelanato, metálicos, dentre outros.

A principal função de uma vedação externa consiste em separar o ambiente externo do ambiente interno. Para tanto, deve simultaneamente servir como uma limitação, uma barreira e um filtro seletivo para controlar fatores complexos, muitas vezes conflitantes de forças e de ocorrências, tais como (GOLDBERG, 1998):

- ✓ Pressão do vento e resistência a sismos;
- ✓ Resistência à movimentação térmica e umidade;
- ✓ Conservação de energia e controle do fluxo de calor entre o meio interior e exterior;
- ✓ Resistência e controle à penetração de chuva;
- ✓ Controle da migração do vapor de água e condensação;
- ✓ Resistência acústica;
- ✓ Resistência e contenção ao fogo;
- ✓ Permitir iluminação natural para o ambiente interior;
- ✓ Permitir circulação de ar entre o meio interior e exterior;

As vedações verticais são os principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício e ocupam posição estratégica entre os componentes dos edifícios. Mesmo sem função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas, ou mesmo sofrer as ações decorrentes das deformações das estruturas, requerendo-se sempre a análise conjunta do desempenho dos elementos que interagem. Possuem como principais funções o compartimento da edificação, proporcionando ao ambiente conforto higrotérmico, acústico, segurança de utilização frente às ações excepcionais como incêndios e desempenho, complementa (ABNT NBR 15575-4:2013).

Constata-se, dessa maneira, que o sistema de vedação em revestimento cerâmico tem como principal papel proteger e dar acabamento estético às edificações. Isto quer dizer que ele tem a função de proteger a edificação da ação da umidade, da chuva, do desgaste mecânico e de agentes atmosféricos, além de proporcionar efeito estético, valorizando economicamente o edifício.

2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADAS

A ABNT NBR 13755:1997 define revestimento externo como sendo o conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final.

O revestimento cerâmico é ainda definido como “o conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte” (ABNT NBR 13816:1997).

Para Toledo (2007) o revestimento cerâmico de fachada se constitui em um conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço de substrato) aderidas à base suporte da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo.

Os sistemas de revestimento de fachadas em cerâmica são largamente utilizados no Brasil, sendo usualmente aplicado sobre uma camada de argamassa de regularização (emboço), previamente executada sobre os substratos de concreto e alvenarias que compõem a parte estrutural e de vedação das edificações.

As placas cerâmicas de revestimento podem ser utilizadas como acabamento de fachadas de duas maneiras principais, função da técnica construtiva utilizada (MEDEIROS e SABATTINNI, 1999):

- Sistemas aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas trabalham completamente aderidas sobre bases e substratos que lhes servem de suporte (Figura 1.1);

- Sistemas não aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas são fixadas por dispositivos especiais não estando diretamente aderidas a um substrato. Geralmente existe uma região intermediária entre as placas cerâmicas e o substrato que pode ser preenchida com ar e/ou com outros dispositivos com finalidade de impermeabilização e isolamento térmico e/ou acústico.

2.1.2 Evolução do sistema de revestimento cerâmico de fachada de edifícios de Brasília-DF

Almeida (1994) efetuou um levantamento da evolução do processo construtivo de edifícios da cidade de Brasília. Até o final da década de 70, o assentamento de placas cerâmicas era feito com argamassa convencional rodada em obra, sem aditivos, com alto consumo de cimento e elevada porosidade. As peças cerâmicas eram imersas em água antes de sua aplicação de maneira a reduzir a perda de água por sucção para o substrato e para o ambiente por evaporação. A argamassa, conhecida como “bolão”, possuía espessura média em torno de 20 mm.

Na década de 80 os construtores passaram a adotar a argamassa colante na execução dos revestimentos com acabamento em peças cerâmicas. Nas décadas de 80 e 90 também foram utilizadas argamassas (cimento:saibro:areia) pré-misturadas nas centrais para aplicação no emboço. Em Brasília, nos períodos compreendidos entre 1995 e 2000, o saibro passou a ser substituído pelo uso da cal (ALMEIDA, 1994; ANTUNES, 2010).

2.2 VIDA ÚTIL, DESEMPENHO, MANUTENÇÃO E DURABILIDADE DAS FACHADAS

2.2.1 Vida útil

A vida útil (VU) é o período de tempo durante o qual o sistema pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene (ABNT NBR 15575-1: 2013).

A vida útil de projeto (VUP) é o período estimado de tempo, em que um sistema é projetado para atender os requisitos de desempenho, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção. Orienta a fabricação de elementos e sistemas construtivos e também a previsão do desempenho contemplando as atividades interventivas de manutenção da edificação (ABNT NBR 15575-1:2013).

A entrada em vigor da norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013, nas suas versões de 1 a 6, que trata desde os requisitos gerais de desempenho até o desempenho específico de elementos e componentes do edifício, trouxe o caráter normativo de exigências legais e também novas perspectivas para o avanço em pesquisas que visem elucidar e dirimir patologias dos edifícios para garantir a durabilidade e vida útil exigida.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013, o custo global da vida útil de projeto é fator determinante para definição da durabilidade requerida. O estabelecimento da vida útil de projeto se deu em função do processo de otimização do custo global. O ideal do ponto de vista da sociedade é estabelecer a melhor relação custo x benefício. Atualmente, a opção por construções de menor custo, entretanto menos duráveis está necessariamente transferindo o ônus desta escolha para as gerações futuras.

A Figura 2.1 mostra a relação entre desempenho e o tempo em vida de edifícios. A garantia da vida útil de projeto (VUP) está diretamente relacionada às ações de manutenção. É necessário salientar a importância da realização integral das ações de manutenção pelo usuário, sem o que se corre o risco de a VUP não ser atingida. Por exemplo, um revestimento de fachada em argamassa pintado pode ser projetado para uma VUP de 25 anos, desde que a pintura seja refeita a cada 5 anos, no máximo. Se o usuário não realizar a manutenção prevista, a VU real do revestimento pode ser seriamente comprometida. Ou seja, as eventuais patologias resultantes podem ter origem no uso inadequado e não necessariamente em uma construção falha (ABNT NBR 15575-1:2013).

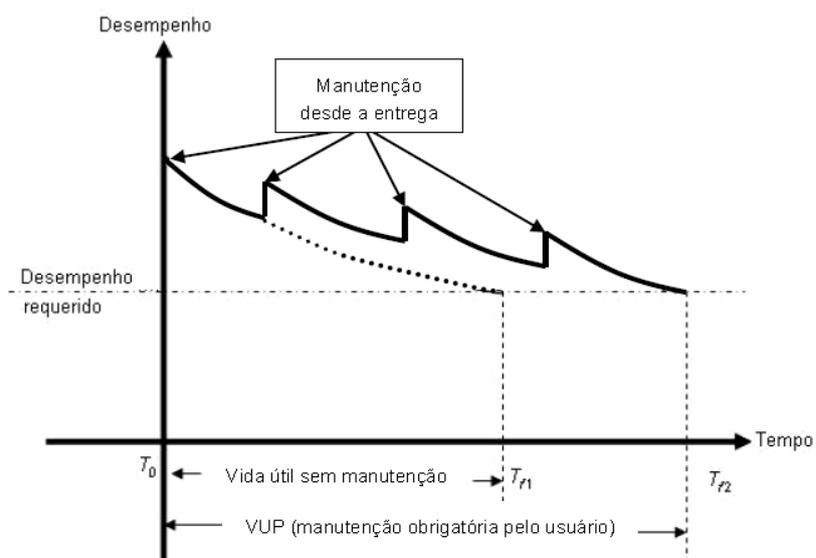


Figura 2.1 – Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1:2013)

Vida útil ainda pode ser interpretada como o período durante o qual o produto atende às necessidades ou exigências do usuário (Tabela 2.1), ou seja, é o tempo, após a instalação de um material ou componente de uma edificação, durante o qual o seu desempenho excede os valores mínimos aceitáveis, quando sofrerem manutenção rotineira.

Tabela 2.1 – Exigências do usuário (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013)

Exigências do usuário	Requisitos e critérios
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança estrutural • Segurança contra o fogo • Segurança no uso e na operação.
Habitabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Estanqueidade • Conforto térmico • Conforto acústico • Conforto lumínico • Saúde, higiene e qualidade do ar • Funcionalidade e acessibilidade • Conforto tátil e antropodinâmico.
Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidade • Manutenibilidade • Impacto ambiental.

Croll e Hinderliter (2011) ressaltam que qualquer tentativa para previsão da vida útil de um material deve contar com parâmetros físicos e químicos relacionados com a sua composição, e não sobre ajustes empíricos de curvas. Os autores abordam a probabilidade de defeitos físicos formados por processos de degradação.

A vida útil de um edifício é condicionada, não só pela sua estrutura, mas também pelos seus elementos constituintes. Os revestimentos são os elementos mais expostos as condições adversas, constituindo um sistema de proteção da própria estrutura. Devem, por isso, conservar as suas características durante o período de vida útil, de modo a respeitarem os níveis mínimos de desempenho (SILVA, 2009).

Torna-se assim imperioso que, durante o processo construtivo, se opte por soluções visando a qualidade e durabilidade da construção, de modo a prolongar a sua vida útil. Por sua vez, a manutenção adequada representa uma melhoria no desempenho dos revestimentos.

Muitas vezes o conceito de vida útil é confundido com o de durabilidade, levando a utilização incorreta dos termos. Silva (2009) considera que a vida útil é a quantificação da durabilidade, e esta por sua vez é uma propriedade que apresenta característica de qualidade da estrutura, obtida desde que atenda às exigências da Tabela 2.1. Assim sendo, é cada vez mais importante que se projete e construa tendo em vista critérios de durabilidade, procedendo a uma manutenção periódica e eficaz para, desse modo, prolongar a vida útil das construções.

Branco (2006) afirma que os componentes do edifício, como é o caso dos revestimentos, possui, em geral, uma vida útil inferior à vida útil global, devendo por isso ser sujeitos a obras de manutenção durante a fase de serviço. É de fato defendido por autores como Flores (2002) e Donca *et al* (2007) que a existência de manutenção regular prolonga o período de vida útil das construções.

Consoli (2006) complementa que a vida útil, a durabilidade e a permanência da estética das fachadas estão ligadas à permanência da qualidade de seus componentes que, por um determinado período de tempo devem atender às solicitações em níveis estabelecidos como adequados. Tais solicitações não se restringem apenas às questões da habitabilidade, pois

edificações com patologias precoces e em especial nas fachadas tendem a diminuir a autoestima dos seus moradores, além de depreciar substancialmente o valor do bem, ou forçar a antecipação do processo de manutenção, para o qual, por vezes, são dispensados valores vultosos.

2.2.2 Desempenho

A ABNT NBR 15575-1:2013 define desempenho como a capacidade de atendimento das necessidades dos usuários da edificação quanto à saúde, conforto, adequação ao uso e economia. A manutenção de edificações visa preservar ou recuperar os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho decorrente da deterioração dos seus componentes, ou de atualizações nas necessidades dos seus usuários.

Esta norma prevê ainda um planejamento dos serviços de manutenção, definidos em planos de curto, médio e longos prazos, de maneira a:

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

Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia para os diferentes sistemas, a ABNT NBR 15575-1:2013 estabelece os níveis de desempenho mínimos (M), que são obrigatórios para o atendimento de cada requisito quando da análise do projeto e ainda, considerando a possibilidade de melhoria da qualidade da edificação, com uma análise de valor da relação custo-benefício dos sistemas, e estabelece o nível de desempenho superior (S), estabelecendo um limite de exigência para atendimento de desempenho, conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Vida útil de projeto e níveis de desempenho mínimo (M) e superior (S) de sistema de revestimento (adaptado da ABNT NBR 15575-1:2013)

Sistemas, elementos ou componentes	VUP (Anos)	
	M	S
Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina.	≥ 40	≥ 60
Revestimento de fachada aderido e não aderido - Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobre muros.	≥ 20	≥ 30
Componentes de juntas e rejuntamentos; mata-juntas, sancas, golas, rodapés e demais componentes de arremate.	≥ 4	≥ 6
Janelas (componentes fixos e móveis), portas-balcão, gradis, grades de proteção, cobogós, brises. Inclusos complementos de acabamento como peitoris, soleiras, pingadeiras e ferragens de manobra e fechamento.	≥ 20	≥ 30

A presença dos requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos somados a indicadores na avaliação da conformidade de produtos e processos com a qualidade especificada na fase de produção e utilização contribui com a prevenção de manifestações patológicas e, por consequência, com a consolidação de técnicas construtivas adequadas e produtivas visando a uma maior durabilidade das edificações (ANTUNES, 2004).

2.2.3 Manutenção

A manutenção compreende um conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários (ABNT NBR 15575-1:2013). Todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação estabelecida pela ABNT NBR 14037:2011 devem ser fornecidas pelos construtores aos usuários através de um documento em forma de manual de uso, operação e manutenção, que tem por finalidade:

- a) informar aos usuários as características técnicas da edificação construída;
- b) descrever procedimentos recomendáveis para o melhor aproveitamento da edificação;
- c) orientar os usuários para a realização das atividades de manutenção;

- d) prevenir a ocorrência de falhas e acidentes decorrentes de uso inadequado;
- e) contribuir para o aumento da durabilidade da edificação.

Os estudos sobre durabilidade iniciaram-se há muitos anos nos países desenvolvidos tendo como motivação o desempenho econômico das edificações e o planejamento das manutenções, somando-se a este contexto a redução de impactos ambientais oferecidas por edificações duráveis (CONSOLI, 2006).

Os revestimentos são os elementos do edifício sujeitos ao maior número de fatores de degradação e onde estes fatores atuam em primeiro lugar. Deste modo, a vida útil de um edifício encontra-se diretamente relacionada com a manutenção do desempenho do revestimento acima dos níveis mínimos exigíveis (LAYZELL; LEDBETTER, 1998).

Gaspar e Brito (2005) enfatizam que o adequado diagnóstico do estado de conservação dos elementos de fachada e o seu prognóstico de comportamento servem para auxiliar projetistas e usuários a conceber edificações e estratégias de manutenção que permitam incrementar a durabilidade desses componentes. Assim, entende-se que o acerto na investigação da edificação é um elemento chave para a condução adequada dos serviços de manutenção, devendo-se, apenas após a definição das necessidades, buscar alternativas de intervenção o menos onerosas e traumáticas possíveis.

Para Paulo *et al.* (2011), o gerenciamento de um edifício ao longo do seu ciclo de vida exige o planejamento de ações de manutenção preventiva antes que eles sejam realmente necessários. Para atingir esse nível de planejamento, é vital saber a vida útil dos materiais e componentes integrados nos edifícios.

Neste contexto, Lopes (2005) enfatiza que a manutenção de edifícios assume-se, assim, como um fator incontornável para valorização e qualificação do parque edificado, dos espaços circundantes, do bem-estar dos cidadãos e da economia.

Takata *et al.* (2004) afirmam que muitas vezes a manutenção é vista como uma ferramenta para resolver problemas. Os autores defendem, ainda, que esta influi significativamente no ciclo de vida dos edifícios (Fig. 2.2), sendo necessária perante duas situações distintas:

- a) alteração das condições do edifício devido a deterioração - vida útil física;
- b) alteração das exigências da sociedade - vida útil funcional.

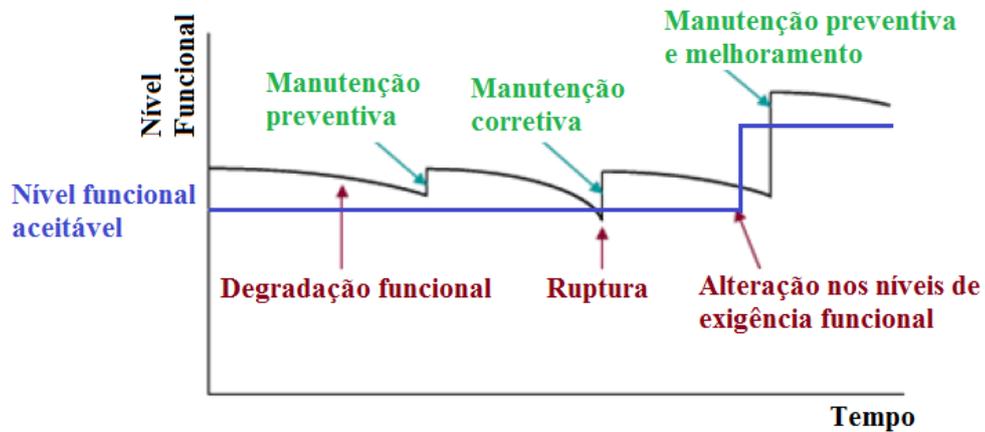


Figura 2.2 – Influência das atividades de manutenção no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis (adaptado de Takata *et al.*, 2004)

Dessa maneira, pode-se observar que as atividades de manutenções devem ser previstas de maneira a garantir os níveis de funcionalidade adequada dos sistemas.

Para Flores (2002), as operações de manutenção afetam o comportamento dos elementos ao longo do tempo, alterando os modelos de degradação (originando eventuais acréscimos de desempenho), os valores das vidas úteis e, por conseguinte, os custos de manutenção.

2.2.4 Durabilidade

A durabilidade, enquanto propriedade de qualidade do edifício, pode ser conceituada como a capacidade da edificação ou do sistema em conservar ao longo do tempo, sob condições de instalação, operação e manutenção especificadas, o desempenho compatível com a utilização prevista no projeto.

A durabilidade dos sistemas que compõem o edifício habitacional está ligada à agressividade do meio ambiente, às propriedades inerentes dos elementos e de seus componentes e à interação entre ambos ao longo do tempo. Ensaios que buscam espelhar a durabilidade ao longo do tempo são objeto de estudos e pesquisas, existindo alguns ensaios consagrados pelo uso e que, via de regra, são específicos para determinados sistemas.

Alguns sistemas tradicionais possuem a própria história como prova do seu desempenho (ABNT NBR 15575-1:2013).

Como requisitos de durabilidade, o edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto sem os sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação (ABNT NBR 15575-1:2008).

Complementando o conceito de durabilidade, a ASTM E-632-82:1996 a define como a capacidade de um produto, componente, montagem ou construção de se manter em serviço ou utilização, ou ainda, a capacidade deste em desempenhar as funções para o qual foi projetado durante determinado período. A durabilidade pode ser expressa em função do tempo em vida ou em função da capacidade de resistência a agentes que levam o edifício à deterioração.

A durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional.

A durabilidade para Flores-Colen e Brito (2003) pode ser representada por diversos modelos de degradação que podem expressar a durabilidade, sendo que, para representarem de maneira confiável o comportamento do elemento ao longo do tempo, devem ser baseados na análise dos mecanismos de todos os agentes que interferem na degradação, recorrendo a inspeções, modelações teóricas ou a ensaios laboratoriais e de campo. Os autores afirmam ainda que estes modelos, desde que devidamente ajustados, permitem elaborar um planejamento econômico em longo prazo possibilitando estimar a vida útil remanescente do elemento estudado.

Neste contexto, Consoli (2006) complementa que a durabilidade de edifícios pode ser expressa em tempo de vida (anos) ou em função da capacidade de resistência a agentes que normalmente afetam o desempenho durante o tempo de uso.

O método de avaliação é a análise do projeto. Os sistemas do edifício devem ser adequadamente detalhados e especificados em projeto, de modo a possibilitar a avaliação da sua vida útil. É desejável conhecer as especificações dos elementos e componentes empregados de modo que possa ser avaliada a sua adequabilidade de uso.

2.3 DEGRADAÇÃO EM VEDAÇÕES VERTICAIS – FACHADAS

Para determinar a degradação dos revestimentos de fachadas se faz necessário conhecer com certo rigor os mecanismos de degradação, ou seja, a sequência de alterações a que o revestimento fica sujeito provocando uma alteração prejudicial nas suas características físicas, químicas ou mecânicas. Esta sequência de alterações ocorre em virtude da exposição do elemento aos fatores de degradação como a exposição ambiental e biológica, erros de utilização e concepção, a utilização inadequada do material, a manutenção incorreta e ações mecânicas.

Observa-se que não somente os edifícios mais antigos como também os novos apresentam algum tipo de patologia. Mesmo com a indústria da construção evoluindo sempre com novos produtos e se adequando aos rígidos programas de qualidade as patologias continuam surgindo sejam devido às falhas de projeto, execução e manutenção.

A partir de uma coletânea de dados obtidos em 44 avaliações de patologias de revestimentos cerâmicos de fachada, Mansur (2007) destaca as diversas manifestações patológicas de origem funcional ou estéticas observadas em revestimentos cerâmicos (Figura 2.3) onde observa que as patologias de origem funcional, mas precisamente os destacamentos (95%), ocorrem em maior quantidade de obras avaliadas.

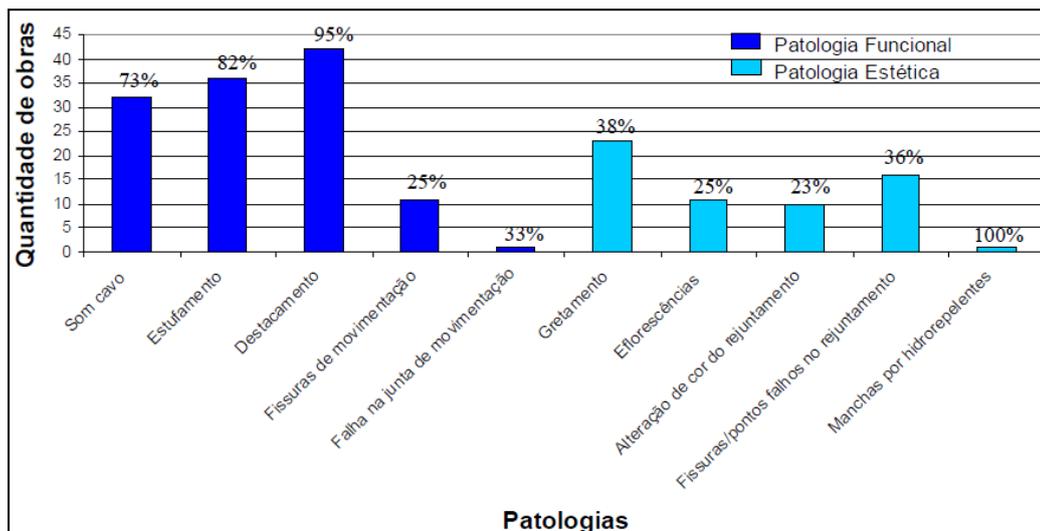


Figura 2.3 – Gráfico com as principais patologias observadas incluindo a quantidade de edifícios em que a ocorrência foi verificada (MANSUR, 2007).

2.3.1 Falha, dano e manifestações patológicas

A falha é um problema decorrente de erros ou de omissões no processo construtivo, podendo ter origem na especificação ou ainda no processo de execução. No processo de especificações, as falhas podem ocorrer no projeto, nas normas ou ainda nas propriedades dos materiais. No processo de execução as falhas ocorrem em função da não correspondência entre o previsto nas especificações e a forma efetiva de execução, como aplicação de elevada espessura de emboço, omissão de cura, etc.

Branco *et al* (2007) em artigo sobre a concepção de projetos de revestimentos em empresas de construção civil ressaltam que durante o processo de desenvolvimento dos projetos pode haver falha em alguns requisitos básicos, como parâmetros relativos ao funcionamento e qualidade global da obra, as interações entre as diversas partes da construção e ainda a qualidade da construção, fato este que pode evidenciar o surgimento das patologias congênitas, ou seja, patologias construtivas geradas ainda na fase de projeto em virtude da desobediência às normas de elaboração de projetos de edificações (ABNT NBR 13531:1995; ABNT NBR 13532:1995).

Just e Franco (2001) concluíram em pesquisa sobre descolamento de cerâmicas em fachadas de Recife que o descolamento decorrente de falhas ligadas a aspectos como

especificação dos materiais, projeto e produção têm início pouco tempo após o término da execução do revestimento, chegando a um máximo de 5 anos. Ressalta-se que as fachadas de edifícios de Brasília nesta faixa de idade também apresentam patologias de descolamento cerâmico.

As falhas nos revestimentos verticais foram observadas de maneira bastante acentuada. Conforme Lichtenstein (1985), a grande maioria dos problemas patológicos tem origem relacionada com alguma falha na realização de uma ou mais das atividades no processo da construção de edifícios e os maiores problemas patológicos ocorrem em edifícios com menor quantidade e qualidade de documentos que possam ser a fonte para o estudo das anomalias que surgem.

As causas mais comuns para as patologias de revestimento são a inexistência de projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados e utilização de materiais inadequados, erros de execução (tanto no preparo da base, como por deficiência de mão de obra), desconhecimento ou não observância das Normas Técnicas e ainda por falhas de manutenção.

O dano ocorre devido a uma redução no desempenho dos sistemas a um nível crítico em que fica evidente o defeito, com causas de origem natural ou intrínseca que afetam a qualidade do sistema. Normalmente esse processo diminui o valor da edificação, como por exemplo, o deslocamento de peças cerâmicas numa fachada.

As falhas ou danos que ocorrem em fachadas causam desconforto estético, insatisfação, insegurança, prejuízos financeiros ao usuário, além de desvalorização do imóvel.

O termo patologia, para a área da construção civil, de acordo com Lichtenstein (1985) é definido como: “a ciência que estuda as origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências das situações nas quais o edifício, ou suas partes não apresente um desempenho mínimo preestabelecido”.

Pedro *et al* (2002) classificam as patologias em função de suas origens em:

- a) Congênitas - originárias da fase de projeto.

- b) Construtivas - têm origem relacionada à fase de execução da obra.
- c) Adquiridas - ocorrem durante a vida útil dos revestimentos.
- d) Acidentais – resultam de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade superior ao normal, recalques e, até mesmo incêndio.

A manifestação patológica em revestimento de fachada nunca é atribuída a apenas uma causa, geralmente é resultante da combinação de inúmeras variáveis como (PEDRO *et al.*, 2002):

- Falhas dos materiais;
- Falhas na especificação;
- Falhas decorrentes do processo executivo;
- Deformação higroscópica;
- Deformação térmica;
- Deformações estruturais;

Vale ressaltar que as deformações higroscópicas, térmicas e estruturais são variáveis que dependem das condições de exposição e de uso.

As manifestações patológicas que surgem nas vedações verticais, apesar de ocorrer em alguns componentes específicos, podem ou não ser originários nos mesmos. É possível que eles estejam vinculados a danos ou falhas decorrentes de outros elementos da edificação em virtude da ligação entre cada componente de maneira a promover a propagação do dano.

2.3.2 Fatores e mecanismos de degradação

As diversas manifestações patológicas que ocorrem nas fachadas apresentam características bem diferenciadas permitindo deduzir qual a natureza, a origem, os mecanismos dos fenômenos envolvidos e ainda permite estimar suas prováveis

consequências. Essas manifestações são evolutivas e podem ser agravar com o passar do tempo (HELENE, 1992).

O processo de degradação ocorre em função da perda de capacidade do material em responder às exigências, ao longo do tempo, aos agentes de deterioração, à natureza do material e ainda da própria idade do material, culminando com o surgimento dos danos (GASPAR; BRITO, 2005).

As diversas patologias que ocorrem nas vedações são resultantes da atuação simultânea de vários agentes intervenientes de degradação. Os agentes de degradação atuam sobre os materiais ou componentes de uma construção, provocando alterações nos materiais reduzindo seu desempenho (JOHN; SATO, 2006). Estes agentes podem ser de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica.

Um exemplo típico da ação conjunta de agentes degradantes é a chuva e vento incidindo sobre a parede externa, a qual pode oferecer condições propícias para desencadear mecanismos de degradação, tais como fissuras de retração, deficiência de aderência, fungos e bolor (SOUZA; ALMEIDA, 2005).

2.3.3 Condições de exposição

As fachadas das edificações estão sujeitas a condições de exposição que irão variar de acordo com as características climatológicas da região onde estão localizadas. Os elementos climáticos como precipitação, vento, radiação solar, umidade relativa e temperatura contribuem com o processo de deterioração e afetam diretamente as características do edifício e de sua imagem do ponto de vista da durabilidade (MELO JÚNIOR, 2010).

O clima possui forte influência sobre a degradação das fachadas, sendo importante na definição das patologias que agem sobre as mesmas. Quanto aos estudos de durabilidade, o clima pode ser classificado em microclima, mesoclima e macroclima, ou ainda em clima regional, clima local e clima no entorno da edificação, considerando que essas classificações se referem sempre à proximidade da edificação (LIMA; MORELLI, 2003).

Neste sentido devem-se considerar três conceitos para diferenciar escalas climáticas de interesse para a degradação nas fachadas:

- **Macroclima**, ou clima regional, que corresponde ao clima médio ocorrente num território relativamente vasto, exigindo, para sua caracterização, dados de um conjunto de postos meteorológicos.
- **Mesoclima**, ou clima local, que corresponde a uma situação particular do macroclima. Normalmente, é possível caracterizar um mesoclima através dos dados de uma estação meteorológica.
- **Microclima**, que corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena (envoltória da fachada ou elemento).

Quando se pensa em relacionar a degradação das fachadas com os aspectos relativos ao clima, devem-se considerar como esses estudos serão relacionados; pode-se relacionar, por exemplo, com os parâmetros médios (temperatura e umidade relativa média anual, por exemplo). Dessa forma, faz-se necessário reduzir a escala de estudo, buscando relacionar a estrutura diretamente com seu entorno utilizando dados do microclima, uma vez que o mesmo rege os processos de degradação.

2.3.3.1 Condições climáticas da região de estudo – Brasília-DF

Conforme o zoneamento bioclimático do território brasileiro (ABNT NBR 15220-3:2005), dentre as oito zonas que agrupam regiões de climas semelhantes, a cidade de Brasília se localiza na Zona 4 (Figura 2.4) que abrange 2% do território nacional. O zoneamento permite agrupar climas semelhantes e estabelecer diferentes características da construção em função desses ambientes.

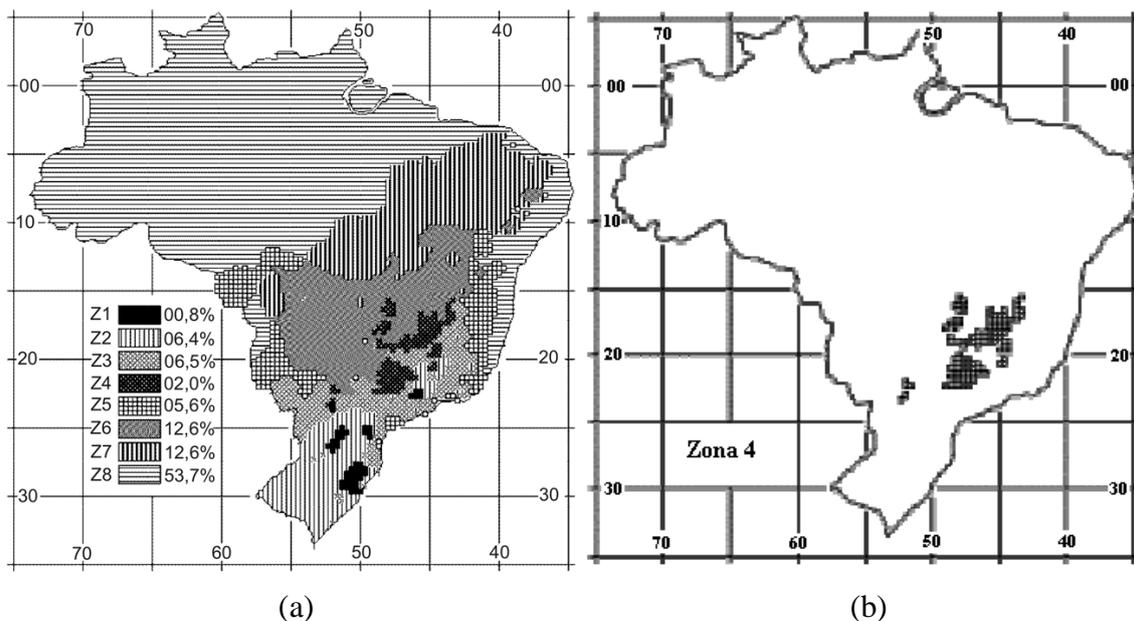


Figura 2.4 – (a) Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro e (b) Mapa com destaque à zona 4 onde se enquadra a cidade de Brasília-DF (ABNT NBR 15220-3:2005).

Localizada na região central do Brasil, Brasília é uma cidade de clima tropical de altitude, caracterizado por um período seco, de maio a setembro, com céu claro e um período quente e úmido, de outubro a abril, com predominância de céu parcialmente encoberto. Conforme Braga e Amorim (2004), por sua localização na área central do país e sua altitude, em média 1160 m (FERREIRA, 1965; BRAGA; AMORIM, 2004; ABNT NBR 15575-1:2013).

A temperatura média anual é de cerca de 20,6°C, podendo chegar aos 28,3°C de média das máximas em setembro, e aos 12,9°C de média das mínimas nas madrugadas de inverno, em julho (Figura 2.5). A umidade média anual é das mais baixas do Brasil, em torno de 67,6%, sendo que, de abril a setembro a umidade relativa alcança níveis inferiores a 49,0% (INMET, 2013).

Observando-se dados ilustrados nos gráficos climatológicos de temperatura média, umidade e insolação (figuras 2.5, 2.6 e 2.7, respectivamente), obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013), é fácil comprovar a distinção entre os dois períodos climáticos.

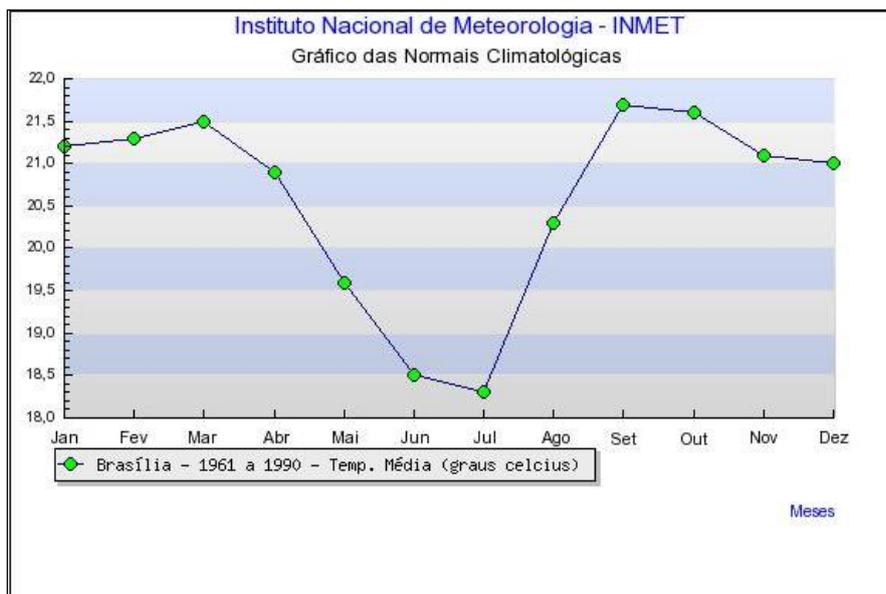


Figura 2.5 – Gráfico climatológico de temperatura média mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).

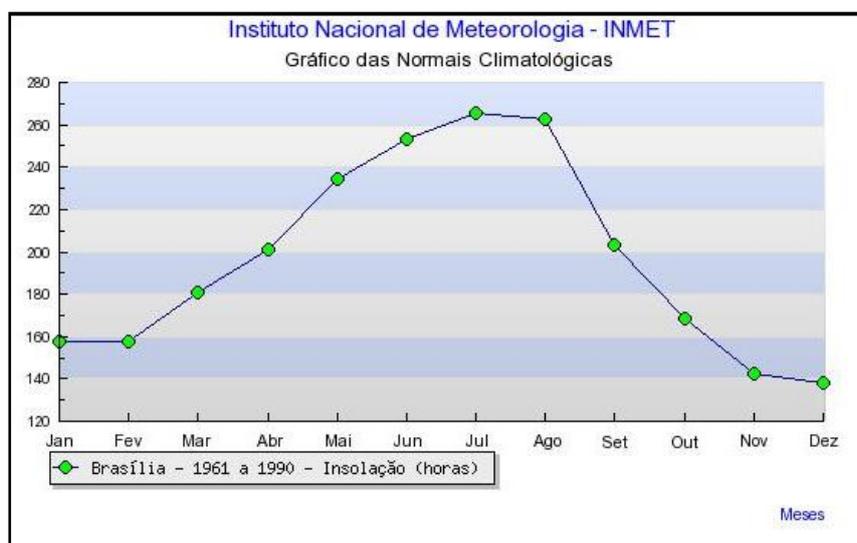


Figura 2.6 – Gráfico climatológico de insolação mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).

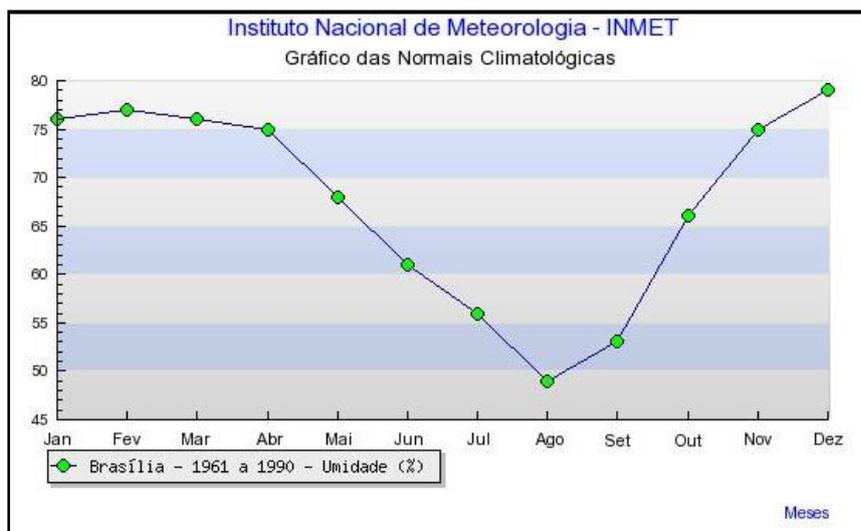


Figura 2.7 – Gráfico climatológico de umidade mensal de Brasília – período 1961-1990 (INMET, 2013).

Em artigo publicado por Matos e Lima (2006) foram discutidos os fatores ambientais de degradação de fachadas, dentre os quais se destacam as variações térmicas, o efeito do vento e das chuvas e as contaminações. Com isso, a depender da posição do pano na fachada, os citados fatores atuam com diferentes intensidades, originando níveis de degradação variados para cada situação, o que justifica uma análise minuciosa desses efeitos para a obtenção de um adequado diagnóstico das necessidades do prédio.

As tabelas 2.4 e 2.5 apresentam os agentes de degradação agressores dos materiais e componentes em função da natureza dos componentes (orgânicos ou inorgânicos, metálicos ou não metálicos) e procedência. Para os autores, os agentes, quando atuam simultaneamente sobre um componente, devem ser computados para a quantificação da agressividade, portanto, isto deve ser considerado nas análises da avaliação da degradação (ASTM 632:1996; JOHN *et al.*, 2002; CONSOLI, 2006).

Tabela 2.3 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996, John *et al.* (2002) e Consoli (2006)).

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

Tabela 2.4 – Agentes de degradação da procedência (adaptado da ASTM 632:1996, John *et al.* (2002) e Consoli (2006)).

Procedência	Classe
Provenientes da atmosfera	Água no estado líquido Umidade Temperatura Radiação solar – radiação ultravioleta Gases de oxigênio (O, O ₂ , O ₃). Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) Gases ácidos Bactérias, insetos Vento com partículas em suspensão
Provenientes do solo	Sulfatos cloretos Fungos Bactérias Insetos
Provenientes ao uso	Esforços de manobra Agentes químicos normais em uso doméstico
Provenientes do projeto	Compatibilidade química Compatibilidade física Cargas permanentes e periódicas

As fachadas, por estarem mais expostas aos efeitos do meio ambiente e as ações atmosféricas, têm uma probabilidade maior de apresentar deterioração durante sua vida, prejudicando a vida útil da edificação. Pode inclusive reduzir a expectativa de vida das

fachadas (mínimo de 20 anos e superior de 30 anos, ABNT NBR 15575-1:2013), de modo que apresentem severo estado de degradação, necessitando de substituição antes de atingir a vida útil estimada. Entre os fatores externos com maior influência na deterioração da fachada estão as variações térmica, ação da chuva e umidade, descritos a seguir.

2.3.3.2 Variações térmicas

O clima brasileiro apresenta temperaturas médias anuais consideradas elevadas como pode ser visto na Figura 2.8, fato este que exerce grande influência nos processos de degradação.

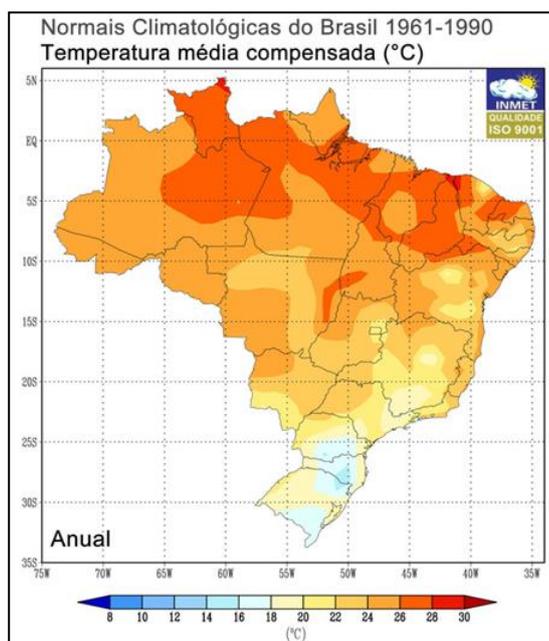


Figura 2.8 – Mapa brasileiro de temperatura média compensada anual – período 1961-1990 (INMET, 2013)

Dos fatores provenientes da atmosfera, a variação da temperatura é um dos agentes mais agressivos aos revestimentos de edifícios provocando variações físicas e químicas nos materiais, gerando fissuras, descolamentos e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem água, umidade e radiação solar, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (CONSOLI, 2006).

As superfícies de vedação de edificações estão sujeitas às variações sazonais de temperatura que promovem uma variação dimensional dos materiais de construção, onde os movimentos de dilatação e contração são limitados por causa das interfaces que constituem os sistemas e em decorrência desta limitação de movimentos surgem as tensões

que provocam fissuras. As movimentações térmicas também estão voltadas as propriedades físicas dos materiais, já que a origem da fissura pode ocorrer devido a movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material (THOMAZ, 1989).

Goldberg (1998) e Barbosa (2013) destacam a importância da variação de temperatura incidente nos materiais e ressalta a diferença entre choque térmico e movimentação térmica. O choque térmico refere-se a taxa e amplitude da variação de temperatura em períodos curtos de tempo, ou seja ocorre em virtude de variações bruscas de temperaturas em função de eventual chuva de verão ou ventos sobre fachadas que estejam com carga térmica elevada. A movimentação térmica nos materiais de construção ocorre em função da expansão e contração quando expostas as variações de temperatura.

Luz (2004) em seu estudo de caso observou que as fachadas com orientação solar com maior incidência (fachadas norte e noroeste) foram as primeiras e mais afetadas pelo destacamento das placas cerâmicas, comprovando que o efeito da incidência da radiação solar pode ter contribuído para o surgimento das manifestações patológicas.

As variações térmicas, aliadas à umidade, provocam esforços higrotérmicos que atuam diretamente sobre os acabamentos, provocando uma dilatação das unidades construtivas em função dos seus coeficientes de dilatação potencial (devido às variações negativas) e de sua técnica construtiva. Essas variações provocam o surgimento de gretas e fissuras.

2.3.3.3 Ação da chuva

A penetração da água da chuva em alvenarias está relacionada com diversos mecanismos físicos que determinam a incidência da chuva sobre as paredes, com fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos pertinentes a concepção e construção das paredes (detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial, etc.) (BAUER, 1987). As diversas formas de penetração da água basicamente são oriundas da aleatoriedade e dependência, bem como da grande gama de fenômenos envolvidos.

O grau de importância atribuído ao estudo da penetração da chuva varia de região para região. Em regiões de altos índices de precipitação e umidade relativa do ar, certamente as

solicitações impostas à parede, no que se refere à estanqueidade, são bem mais significativas, necessitando de maiores cuidados na concepção das fachadas (BAUER, 1987). Uma preocupação relevante para pesquisadores como Bauer (1987), Giongo (2007), Melo Júnior, (2010), Giongo *et al* (2011), Poyastro (2011) e Freitas (2011) no estudo da conservação do ambiente construído se refere à associação do vento à chuva. Esse fenômeno, denominado chuva dirigida é um fator muito importante na degradação das fachadas dos edifícios.

A ocorrência de chuva associada à ação do vento atingem as fachadas de maneira diferenciada. Quando uma face da fachada é atingida pela chuva dirigida, a outra face oposta fica potencialmente protegida. Sendo assim, a durabilidade das fachadas depende de um projeto de fachadas que contemplem requisitos de proteção aos agentes de exposição.

A orientação de uma determinada fachada tem relevância em relação à incidência de chuva carregada por um vento pluvial dominante, isto é, os lados da edificação que estiverem voltados a ventos predominantes de determinada região receberão maiores quantidades de chuva (GIONGO, 2007; MELO JÚNIOR, 2010).

Freitas (2011) complementa que a orientação crítica da fachada é determinada pela combinação da chuva incidente e da radiação solar (secagem). A chuva incidente máxima não condiciona o maior teor de umidade, uma vez que esse efeito pode ser reduzido pela secagem mais rápida provocada pela ação da radiação solar.

Outro fator importante a ser considerado, conforme relata Bauer (1987), reside na penetração de água por meio de pequenas fissuras presentes na interface bloco-argamassa. A resistência à penetração dependerá do preenchimento total das juntas, tanto verticais quanto horizontais, e da extensão de aderência entre bloco e argamassa.

A concepção da alvenaria com respeito à resistência à penetração da chuva comporta a análise das características dos materiais, quer seja em relação a compatibilidade mútua entre eles, quer seja em relação às características desejáveis em relação a garantir perfeita resistência à ação da chuva na alvenaria. Também deve ser considerado o comportamento e a função específica de cada material, bem como a elaboração de dispositivos que auxiliem ou garantam a estanqueidade global da alvenaria.

2.3.3.4 Influência da umidade em fachadas

A umidade presente nas fachadas pode ter origem na fase de execução da obra ou durante o uso do edifício e se manifesta, conforme mostra a Figura 2.9, através de manchas e bolhas de umidade, corrosão, bolor, fungos, algas, líquens, eflorescências, descolamentos de revestimentos, friabilidade da argamassa por dissolução de compostos com propriedades cimentícias, fissuras e mudança de coloração dos revestimentos (SATO *et al.*, 1997).



Figura 2.9 – Manchas no revestimento cerâmico (LEM- UnB, arquivo fotográfico).

Conforme Perez (1988), os principais mecanismos responsáveis pela fixação de umidade, são: absorção de umidade; absorção de água por capilaridade; absorção de água por infiltração; absorção de água por condensação; e umidade acidental.

Enfocando umidade, Guimarães (2003) verificou em sua pesquisa que as causas imediatas mais prováveis ficaram distribuídas em falta ou falha na estanqueidade de esquadrias (21%), falta ou falha em drenagens adjacentes (18%), trincas ou fissuras (15%), falta ou falha em impermeabilizações (13%), falta ou falha em rufos pingadeiras (12%) e falta ou falha em peitoris (11%). As causas remotas mais prováveis da ocorrência de umidade foram falta ou falha em amarrações (68%) e falta ou falha em vergas e contravergas (25%). Com relação aos indicadores de deterioração mais encontrados, predominaram manchas de umidade (68%) e destacamento de revestimento (14%).

Silva (2007) complementa que os fatores que podem atenuar os problemas de umidade são os aspectos relacionados às características dos materiais empregados nas fachadas dos

edifícios, como a rugosidade e a porosidade do revestimento, que influenciam respectivamente no escoamento e grau de absorção da água.

Uma maneira de minimizar os processos de deterioração das fachadas, garantindo sua estanqueidade, consiste na prescrição de fachadas com revestimentos pouco porosos ou ainda utilização de barreiras contra a penetração de água, como pingadeiras, molduras, cimalkas, peitoris e frisos.

2.3.4 Patologias comuns em fachadas

Lichtenstein (1985) destaca que o comportamento do edifício é o resultado do comportamento das suas partes, da interação destas partes entre si, e da interação do edifício com o entorno.

A estrutura dos sistemas de revestimentos, composta por camadas de materiais compostos, sofre tensões diferenciadas provocadas pelas movimentações de cada componente frente às solicitações externas. Para aliviar as tensões, os materiais precisam apresentar características de resistência e deformabilidade compatíveis com os esforços a que ficam submetidos, caso contrário pode ocorrer o comprometimento dos materiais componentes do sistema e, conseqüentemente, o surgimento de patologias.

As patologias nos sistemas de revestimento cerâmico podem ser classificadas em dois tipos (GOLDBERG, 1998):

- Estéticas;
- Funcionais.

As patologias estéticas, em geral, não representam riscos para a estabilidade e segurança dos edifícios, prejudicam apenas a aparência da edificação, como, por exemplo, eflorescências e manchas.

As patologias funcionais são aquelas que afetam tanto a aparência, a integridade dos componentes do edifício, bem como a segurança dos usuários. Essas patologias podem ter

origem a partir da evolução dos defeitos estéticos. O destacamento e descolamento cerâmico e as fissuras são exemplos de patologias funcionais.

Dentre as patologias normalmente observadas em vedações verticais destacam-se: fissuras e trincas, descolamentos, destacamentos, falhas nas juntas, falhas de rejunte, manchas, falhas de vedação e deterioração de placas cerâmicas.

i. Fissuras e trincas

As fissuras (Figura 2.10) em edificações são manifestações patológicas decorrentes dos mecanismos de alívio de tensões pelas alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume ao longo do período em serviço, podendo ser decorrentes de processos físicos-mecânicos ou químicos (CARASEK, 2007). Na maioria das vezes o problema não está no revestimento, mas na base sobre a qual o mesmo foi aplicado.



Figura 2.10 – Fissuras em revestimento cerâmico (LEM- UnB, arquivo fotográfico)

As ocorrências de fissuras ou descolamentos nas fachadas são consideradas toleráveis caso atendam às seguintes características, conforme o local do aparecimento (ABNT NBR 15575-4:2013):

- ✓ Fissuras no corpo das fachadas, descolamentos entre placas de revestimento e outros seccionamentos do gênero, desde que não sejam detectáveis a olho nu por um observador posicionado a 1,00 m da superfície do elemento em análise, num cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sob iluminação natural em dia sem nebulosidade;

- ✓ Descolamentos localizados de revestimentos, detectáveis visualmente ou por exame de percussão (som cavo), desde que não impliquem em descontinuidades ou risco de projeção de material, não ultrapassando área individual de $0,10\text{m}^2$ ou área total correspondente a 5% do pano de fachada em análise.

As fissuras que ocorrem na interface estrutura-alvenaria normalmente se posicionam paralelamente ao componente estrutural (pilar, viga ou laje), indicando destacamento horizontal ou vertical, devido a movimentos diferenciais, decorrente de deformação de estruturas devido às flechas excessivas em vigamentos e lajes, e ainda a deficiência de ancoragem principalmente no encontro entre pilar e alvenaria. Estas fissuras podem apresentar uma configuração sinuosa (“dentes de serrote”) com ou sem ramificações, sendo esta mais frequente abaixo de vigas e lajes. Especificamente nas interfaces com pilares, podem ainda apresentar configurações também “denteadas”, onde o destacamento ocorre no contorno dos componentes da alvenaria.

Dentre as causas mais tratadas na literatura sobre o surgimento de fissuras, têm-se: as movimentações térmicas e higroscópicas, atuação de sobrecargas, deformabilidade das estruturas de concreto armado, recalques de fundação, retração dos produtos à base de cimento e as alterações químicas dos materiais de construção (THOMAZ, 1989).

Thomaz (1989) salienta que a fissuração em revestimentos de argamassa por alterações químicas pode decorrer da hidratação retardada de cales ou de ataque por sulfato. Ambas as manifestações necessitam da presença de água resultando em reações que proporcionam o aumento do volume e a expansão do produto destas reações tem como consequência o aparecimento de fissuras.

A trinca pode ser entendida como a ruptura no corpo da peça, sob a ação de esforços, provocando a separação de suas partes e é manifestada através de linhas estreitas que configuram o grau de sua abertura, sendo que, em geral, apresenta-se com dimensões superiores a 1 mm. O gretamento e a fissuração, por sua vez, são aberturas liniformes que aparecem na superfície do componente, provenientes da ruptura parcial de sua massa, ou seja, a ruptura que não divide o seu corpo por completo. São caracterizadas por apresentarem, aberturas inferiores a 1 mm (SABBATINI; BARROS, 2001).

Trincas e fissuras, quando ocorrem nas juntas entre as placas cerâmicas, localizam-se principalmente entre o rejunte e a lateral das placas. Sabbatini e Barros (2001) diferenciam as fissuras e as trincas pelas dimensões das aberturas apresentadas, sendo fissuras aquelas cuja abertura não ultrapassam 0,5 mm, e as trincas aquelas que possuem aberturas maiores.

A partir do trabalho de Ioshimoto (1988), a respeito de incidência de manifestações patológicas em edificações, tem-se que as causas prováveis de fissuras e trincas são: recalque (acomodação do solo, da fundação ou do aterro); retração (fissuração da argamassa de revestimento ou de piso cimentado); movimentação (da estrutura de concreto, do madeiramento do telhado ou da laje mista); amarração (falta de amarração nos cantos de paredes ou no encontro da laje com as paredes, isto é, aperto inadequado); diversos (concentração de esforços, impacto de portas, etc.).

Guimarães (2003) conclui em sua dissertação que as causas mais prováveis para as ocorrências de trincas ou fissuras para o conjunto dos vinte prédios analisados foram a falta ou falha em amarrações (56%), seguindo-se movimentações estruturais (19%) e falta ou falha em vergas e contra vergas (15%).

Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) salientam que as edificações são sistemas complexos e heterogêneas e estão sujeitas a comportamentos diferenciados que podem afetá-las como um todo ou às suas partes. Desta maneira, quando o comportamento diferenciado de suas partes ultrapassa a capacidade de resistência dos elementos e componentes afetados, ocorre a formação das fissuras.

Além de provocar desconforto psicológico para o usuário, as fissuras e trincas podem provocar a perda de estanqueidade da parede e conseqüente degradação com o passar do tempo. Essa perda de estanqueidade pode facilitar a infiltração de agentes agressivos que podem se tornar patológicos comprometendo o desempenho esperado do sistema e provocando sua deterioração.

Os procedimentos adotados tradicionalmente para a execução das alvenarias não tem demonstrado a mesma eficiência que antes, contribuindo diretamente para o surgimento dos problemas patológicos. Em virtude do procedimento de execução ou da esbeltez da estrutura das construções atuais, os deslocamentos à que as alvenarias ficam expostas são

superiores a sua capacidade resistente, alterando a funcionalidade das paredes, impedindo parte considerável de seu deslocamento ou mesmo aumentando o seu deslocamento, tornando deficiente sua resistência e capacidade de se deformar. Como resultado desta situação tem-se a ocorrência sistemática de fissuras e trincas, muitas vezes com descolamento de revestimentos, uma vez que a alvenaria não foi dimensionada para esta finalidade. Esta falta de compatibilidade tem origem evidente ainda na fase de projeto (arquitetura, estrutura e alvenaria) e pode conduzir a situações extremas onde a parede de vedação sofre intensa fissuração e até ruptura.

Neste contexto, são vários e complexos os fatores que podem levar à fissuração dos elementos de vedação e o controle das fissuras, muitas vezes, fogem ao alcance devido às características e particularidades inerentes à construção civil. Quando não causam descolamento, as fissuras indicam aderência satisfatória do suporte.

ii. Descolamento (perda de aderência)

A perda de aderência pode ser entendida como um processo em que ocorrem falhas ou ruptura na interface dos componentes cerâmicos com a camada de fixação ou na interface desta com o substrato, devido as tensões surgidas ultrapassarem a capacidade de aderência das ligações. Os sintomas podem ser observados, inicialmente, a partir da repercussão de um som oco em alguns componentes, seguido do descolamento dos mesmos (Figura 2.11), podendo ocorrer, eventualmente, o descolamento imediato (SABBATINI e BARROS, 2001).



Figura 2.11 – Descolamento de placas cerâmicas (LEM- UnB, arquivo fotográfico).

Nesta mesma constatação, Das Chagas (2009) reforça que o processo de mecanismo de descolamento em sistemas de revestimentos pode ser entendido como a perda de aderência entre a placa cerâmica e a argamassa de emboço ou entre a camada de emboço e a base em virtude das solicitações impostas ultrapassarem a resistência de aderência entre essas camadas ou ainda por falhas coesivas.

Saraiva (1998) destaca alguns fatores que podem provocar o descolamento das cerâmicas como o peso próprio, principalmente no caso de camadas muito espessas; as diferenças nas propriedades mecânicas dos materiais constituintes das diversas camadas; as movimentações da base; e, sobretudo, os esforços térmicos cíclicos nas fachadas que ficam grande parte do tempo expostas ao sol e que são revestidas com cerâmicas escuras, as quais apresentam grande potencial de absorção de calor se comparadas com as cerâmicas claras.

Uma observação não sistemática parece indicar que, em geral, o descolamento acontece depois de passado o primeiro ano da ocupação do edifício, podendo se manifestar através de casos isolados ou em grandes painéis. Parecem ocorrer, com maior frequência nos primeiros e últimos pavimentos, provavelmente em função do maior nível de solicitação (estruturas em balanço e efeito de segunda ordem) a que estes estão sujeitos.

Sabbatini e Barros (2001), em suas observações, complementam que as causas do descolamento dos componentes podem ser diversas, sendo uma das mais importantes a instabilidade do suporte, devido à acomodação do conjunto da construção, à fluência da estrutura de concreto armado e as variações higrotérmicas e de temperatura.

Os descolamentos podem apresentar extensão variável, sendo que a perda de aderência pode ocorrer de diversas maneiras: por empolamento, em placas, ou com pulverulência. As causas destes problemas são (BAUER, 1987):

- ✓ Instabilidade do suporte, devido a acomodação do edifício como um todo.
- ✓ Deformação lenta (fluência) da estrutura de concreto armado, variações higrotérmicas e de temperatura, características um pouco resilientes dos rejuntas.
- ✓ Ausência de detalhes construtivos (contravergas, juntas de dessolidarização).
- ✓ Utilização da argamassa colante com um tempo em aberto vencido; assentamento sobre superfície contaminada.
- ✓ Imperícia ou negligência da mão de obra na execução e/ou controle dos serviços (assentadores, mestres e engenheiros).

iii. **Desplacamento**

A manifestação patológica mais avaliada e que apresenta maior risco é o deslocamento de elementos cerâmicos (Figura 2.12). Esta manifestação pode ser considerada a mais perigosa por causar danos à integridade física e material (LUZ, 2004).



Figura 2.12 – Região de deslocamento de elementos cerâmicos (LEM- UnB, arquivo fotográfico).

As causas das patologias de deslocamento são diversas, abrangendo projeto, execução, materiais e mão de obra. No entanto, na maioria das vezes, um problema não é causado por

um único fator, mas pela interação de diversos aspectos atuando simultaneamente. Neste contexto Fiorito (1994) destaca que as prováveis causas do deslocamento são a falta de aderência entre as camadas, a expansão da cerâmica em virtude da umidade, a retração excessiva da argamassa e, sobretudo, o aparecimento de tensões cíclicas decorrentes do efeito térmico que pode levar o sistema de revestimento cerâmico à ruptura por fadiga (SARAIVA, 1998; SILVA, 2000; UCHÔA, 2007; BARBOSA, 2013).

Dentre as principais patologias verificadas em sistemas de revestimento cerâmicos de fachadas, a ocorrência de destacamentos de placas cerâmicas é a mais preocupante uma vez coloca em perigo a segurança dos moradores e transeuntes, representando risco de morte, além dos aspectos estéticos e do comprometimento da habitabilidade (TAN *et al*, 1996; CARASEK, 1996; MANSUR, 2007). Os destacamentos de revestimentos das fachadas podem ocorrer com o desprendimento da cerâmica por ruptura adesiva nas interfaces placa cerâmica/argamassa colante, argamassa colante/emboco, emboco/chapisco e chapisco/substrato ou por ruptura coesiva no interior de qualquer uma destas camadas.

iv. Falhas nas juntas

A deterioração das juntas de assentamento (Figura 2.13) pode ocorrer entre outras razões devido a impactos nas regiões de encontro especialmente com as esquadrias; pela ação das intempéries (insolação, ação da água) (SARAIVA, 1998); fadiga do rejunte por ciclos higratérmicos; envelhecimento, manifestado nas resinas de origem orgânica pela alteração da cor; especificação e/ou uso e aplicação errônea do rejunte que podem implicar em elevada porosidade superficial e baixa resistência mecânica; infiltração de produtos potencialmente agressivos e água. Todos estes fatores podem implicar em fissuração e posterior queda do rejunte da fachada.

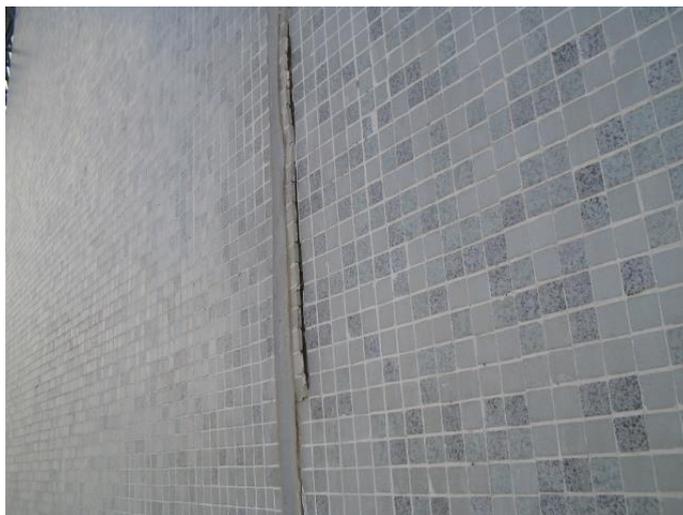


Figura 2.13 – Falha na junta (LEM-UnB, arquivo fotográfico).

As falhas que ocorrem entre as placas cerâmicas facilitam a passagem de água, podendo comprometer o desempenho do rejunte, que deixa de cumprir suas funções (aliviar tensões e garantir estanqueidade do revestimento). Para prevenir a ocorrência de falhas nas juntas faz-se necessário atender às características geométricas previstas em projeto, exercer controle durante a execução das juntas, escolher corretamente os materiais de preenchimento, além de cumprir às orientações e exigências das normas vigentes.

v. Falhas de rejuntamento

A falha de rejuntamento entre as peças cerâmicas ocorre pela ausência ou deterioração do rejunte nas juntas entre as peças (Figura 2.14). A função do rejunte consiste na impermeabilização do revestimento, evitando a penetração de água para as camadas internas da fachada (Bauer *et al.*, 2006).

Muitas vezes, pela ação das intempéries (sol, chuva) o rejunte fissa e cai da fachada. Outras, vezes, em regiões de encontro principalmente com as esquadrias, o mesmo é deteriorado por impactos, manutenção de janelas ou ainda pela corrosão metálica das esquadrias. Assim é, que surgem falhas que se caracterizam por aberturas por onde a água penetra, gerando principalmente patologias de infiltração no apartamento.



Figura 2.14 – Falha de rejunte (LEM-UNB, arquivo fotográfico).

O rejunte deteriora principalmente pela ação da insolação, bem como também pela ação da água ao longo do tempo. Em edifícios de maior idade é muito comum encontrar-se o rejunte total ou parcialmente destacado, e, em alguns casos fissurado.

vi. Manchas na superfície - Eflorescências

Para Luz (2004), a falta de elementos de acabamento superior da platibanda e peitoris das janelas, como pingadeiras, contribui para o surgimento de manchas, principalmente nas argamassas de rejuntamento. O autor concluiu ainda que, apesar da falta de manutenção e limpeza das fachadas, o avanço do acabamento superior da platibanda e peitoris das janelas provavelmente contribuiu para amenizar o surgimento de manchas nas superfícies das placas cerâmicas e nas argamassas de rejuntamento.

Outra manifestação patológica que pode ser encontrada nas fachadas é a eflorescência, que se caracteriza pelo efeito de lixiviação, ou seja, transporta os sais solúveis até a superfície, provocando deterioração do sistema. Pode surgir em pontos específicos de forma concentrada ou generalizada por toda a fachada em forma de manchas.

As patologias estéticas como, por exemplo, eflorescências e manchamentos, afetam a imagem da edificação, mas, inicialmente, não representam riscos para a segurança (Figura 2.15). No entanto, alguns defeitos estéticos podem conduzir a defeitos funcionais, que são

aqueles que afetam tanto a aparência como a segurança humana, além da integridade de outros componentes da edificação. Um importante exemplo de patologia funcional é o destacamento de placas cerâmicas de fachadas.



Figura 2.15 – (a) Eflorescências e (b) Manchas nas fachadas com revestimento cerâmico.

vii. Falha de vedação

A falha de vedação (Figura 2.16) normalmente ocorre no entorno do vão das esquadrias, no encontro do corpo da esquadria com a alvenaria, geralmente levam a perda de estanqueidade. Este tipo de manifestação patológica pode ser vinculado à queda de rejunte, pela sua má aplicação ou falta de manutenção e ainda pode ser decorrente do processo de corrosão de esquadrias metálicas. A ausência de rejunte na interface esquadria/alvenaria permite que a água percole pela abertura levando ao surgimento de infiltrações (ANTUNES, 2010).



Figura 2.16 – Detalhe de falha de vedação (LEM- UnB, arquivo fotográfico).

viii. Deterioração de placas cerâmicas - gretamento

O gretamento é identificado por pequenas fissuras, semelhantes a um fio de cabelo, na superfície esmaltada do elemento cerâmico. Essas fissuras apresentam formato circular, em espiral ou em forma de aranha (Figura 2.17). O gretamento pode ocorrer já na fase de fabricação, bem como pode surgir com o tempo em uso da cerâmica (ANTUNES, 2010).



Figura 2.17 – Detalhe de cerâmica gretada (LEM- UnB, arquivo fotográfico).

Durante o processo de fabricação da placa cerâmica a massa fica em tensão de compressão nas camadas mais superficiais, visando aumentar a resistência mecânica da peça. A tensão de compressão residual vai sendo liberada com o decorrer do tempo (meses ou anos), e caso ocorra tração no vidrado, o mesmo se romperá ficando gretado (BAUER, 1996).

A ABNT NBR 13818: 1997 fixa o limite de 0,6 mm/m para a EPU obtida por fervura e recomenda que as placas cerâmicas não devam apresentar gretamento durante o uso. Neste sentido, para a indústria cerâmica para revestimento, o gretamento é considerado um defeito de fabricação.

A expansão por umidade (EPU), também chamada de dilatação higroscópica é o termo técnico utilizado para designar a expansão sofrida pelos materiais cerâmicos quando em contato com a água na forma líquida ou de vapor. Essa expansão, em geral, é relativamente pequena, no entanto, durante o uso as tensões geradas quando cada uma das placas cerâmicas se expande além de um determinado limite podem ser suficientes para levar ao gretamento do vidrado e comprometer a estabilidade da estrutura e levar ao destacamento.

Quando o gretamento ocorre durante o uso da placa cerâmica, ou seja, após a sua aplicação, o mesmo está associado à dilatação sofrida pela base da placa cerâmica devido à expansão por umidade e/ou retração das argamassas de emboço ou fixação com alto teor de cimento, ocasionando tensões induzidas nas placas cerâmicas que podem romper a camada de material vítreo do esmalte (CAMPANTE, 2001).

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este Capítulo apresenta um levantamento da bibliografia nacional e internacional disponível no que concerne ao entendimento dos fatores e mecanismos de degradação que afetam as fachadas com revestimento cerâmico.

A literatura internacional, constituída de artigos e normas dos comitês técnicos que abordam os assuntos pertinentes à conceituação e caracterização das vedações verticais;

dos sistemas de revestimento cerâmicos; da vida útil, do desempenho, da manutenção e durabilidade das fachadas e ainda da degradação das fachadas.

A fundamentação teórica sobre o sistema de revestimento de fachada apresenta os conceitos e generalidades das fachadas e do sistema de revestimento cerâmico. A estrutura deste sistema, composto por camadas de diferentes materiais sujeitam o sistema de revestimento à mecanismos de degradação e movimentações entre as diversas camadas que favorecem o surgimento de patologias. Os revestimentos cerâmicos em fachadas são muito utilizados em virtude de sua valorização estética e funcional que conferem versatilidade ao revestimento cerâmico. Contudo, devido às elevadas manifestações patológicas observadas neste tipo de revestimento, com impacto expressivo no desempenho dos sistemas de revestimento, torna-se essencial compreender o comportamento do mesmo aos processos de degradação.

O sistema de revestimento cerâmico de fachada se mostra bastante complexo por ser constituído por diferentes camadas e vários tipos de materiais. É um dos sistemas da edificação que se encontra mais exposto aos fatores de degradação, como movimentação estrutural, oscilação térmica, umidade, dentre outros agentes de degradação.

Os conceitos sobre vida útil, desempenho, manutenção e durabilidade refletem as exigências que as fachadas devem atender para que cumpram suas funções de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. A vida útil relaciona o desempenho dos sistemas em função do tempo, ou seja, consiste no período de tempo em que as fachadas atendem às necessidades do usuário.

Com a regulamentação da norma de desempenho que estabelece os requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos, surge uma maior preocupação no meio técnico com a prevenção de patologias visando estabelecer maior durabilidade às fachadas das edificações. O adequado diagnóstico dos elementos de fachada e o seu prognóstico de comportamento permitem que projetistas e usuários possam idealizar edificações e estabelecer procedimentos de manutenção que permitam aumentar a durabilidade desses componentes.

Existe uma relação intrínseca entre desempenho, manutenção, durabilidade e vida útil, ou

seja, o conjunto dessas ações ou de sua aplicabilidade promove condições seguras e eficientes para a qualidade, segurança e estabilidade das fachadas.

Faz-se também uma abordagem sobre a degradação das fachadas, com apresentação de conceitos sobre falha, dano e manifestação patológica, dos mecanismos de degradação, das condições de exposição e caracteriza os tipos de patologias comumente observadas em fachadas com revestimento cerâmico.

As fachadas dos edifícios constituídas com revestimento cerâmico apresentam especial interesse neste estudo em virtude de sua característica como elemento de vedação, proteção e seu nível de exposição aos diversos e complexos agentes e mecanismos de degradação.

Os conceitos referentes aos fatores e mecanismos de degradação são abordados de maneira a esclarecer a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos nos problemas patológicos e suas prováveis consequências para as fachadas dos edifícios, tendo em vista que esses problemas são evolutivos e podem se agravar com o passar do tempo.

3 MODELOS DESENVOLVIDOS PARA O ESTUDO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS

Diversos autores estudaram e aperfeiçoaram as metodologias que visam auxiliar na inspeção, avaliação e quantificação das degradações em fachadas, dentre os quais cabe destacar os estudos de Shohet *et al* (1999), Lacasse e Sjostrom (2003), Lacasse e Sjostrom (2004), Hovde (2004), Moser (2004), Chew *et al.* (2004), Daniotti e Cecconi (2010) com uma abordagem quantitativa da degradação utilizando um método fatorial. Destaca-se ainda os estudos de Gaspar e Brito (2008), Gaspar (2009) e Gaspar e Brito (2011) que vêm evoluindo suas pesquisas nessa área com resultados considerados relevantes em termos de estimativa de vida útil de fachadas de edifícios. Nesta linha de avaliação da degradação de vedação e fachadas, destacam-se os estudos como os de Sousa (2008) e Silva (2009), realizados também em Portugal e de Taguchi (2010), realizado no Brasil. Descreve-se a seguir, quatro estudos que são referência para a avaliação de degradação e vida útil das fachadas.

3.1 MODELO PROPOSTO POR SHOHET *et al* (1999)

Para Shohet *et al* (1999), um dos parâmetros mais importantes que afetam a eficiência dos programas de manutenção é a precisão e a confiabilidade da vida útil prevista de componentes da construção, para tanto, desenvolveu uma metodologia para o estabelecimento de bases de dados que descrevem padrões de deterioração do prédio e componentes de sistemas com base em sua condição real monitorados *in situ*. A metodologia integra ferramentas de diagnóstico em um modelo analítico e pesquisa de campo. A metodologia foi implementada com base em três tipos de sistemas de revestimento exterior: revestimentos (1) em estuque, (2) de cerâmica ou de mosaicos e revestimentos de pedra (3). Um levantamento preliminar analisou cerca de trinta mecanismos de falhas que podem resultar de: (a) projeto defeituoso, (b) má qualidade da execução, (c) má qualidade dos materiais; (d) condições climáticas adversas (intensidade de radiação solar ou ataque de cloretos); (e) as condições atmosféricas causadas pela poluição atmosférica; (f) a má manutenção, (g) uso intensivo. A metodologia inclui três

etapas: identificação dos padrões de falhas, determinação do ponto de seu estado real e avaliação da vida útil prevista.

O principal objetivo do estudo de Shohet *et al* (1999) consistiu em desenvolver uma metodologia para sistematizar uma base de dados de padrões de deterioração de componentes e sistemas construtivos. Os objetivos podem ser definidos como segue:

- Caracterização de padrões de deterioração dos diferentes mecanismos de degradação;
- Desenvolvimento de um procedimento sistemático e prático para determinar a vida útil da construção de componentes com base na sua real condição em um determinado momento.

Em 1979, o Instituto de Arquitetura do Japão iniciou a investigação e o desenvolvimento no domínio (Architectural Institute of Japan, 1993). A metodologia proposta por esta instituição e adaptada pelos autores baseia-se no método fatorial, resumida na seguinte expressão (3.1):

$$Y = Y_s \times A \times B \times C \times D \times E \times F \quad (3.1)$$

onde:

Y – Previsão da vida útil;

Y_s – Tempo de vida em serviço;

A – Qualidade dos materiais utilizados;

B – Qualidade do projeto;

C – Qualidade da execução;

D – Nível de manutenção;

E – Condições ambientais;

F – Estado geral do edifício.

As deficiências desta abordagem são:

- Exige estudos aprofundados do projeto, material, e os serviços de execução;
- Não se refere à escala de deterioração ou de sua desaceleração ao longo do tempo.
- Não define uma classificação sistemática do nível de serviço.

O coeficiente de influência para um caminho de deterioração específicos expressa o efeito parcial de um agente de deterioração específicos na falência completa do sistema de revestimento. O valor deste coeficiente varia entre 0 para os agentes de degradação que não afetam e 1 para os agentes que afetam a previsão de vida útil.

O método apresentado neste trabalho foi desenvolvido como uma ferramenta para a previsão da vida útil da construção de componentes para fins de manutenção. O método é, portanto, baseado no exame das condições reais que afetam o componente. Esta ferramenta é simples e prática para uso no estabelecimento de uma política de manutenção eficiente.

3.2 MODELO PROPOSTO POR GASPAR E BRITO (2008) E GASPAR E BRITO (2011)

Em seu trabalho sobre a evolução de danos em fachadas rebocadas, Gaspar e Brito (2008) apresentaram uma metodologia para quantificar o nível de degradação global das fachadas rebocadas. Os resultados são discutidos e comparados com as respostas dos danos nas construções obtidos com base em consultas e entrevistas com diferentes profissionais (arquitetos, pesquisadores e proprietários) para os dados amostrais estudados.

Os resultados da pesquisa desenvolvida por Gaspar e Brito (2008), Gaspar (2009), Gaspar e Brito (2011), dentre outros, foram muito importantes, pois mostrou ser possível estabelecer padrões de degradação através de uma curva da degradação e ainda alavancou pesquisas com outros sistemas de revestimentos (cerâmicos e pedra), além de outras abordagens de análise do processo de degradação em fachadas.

3.2.1 Curvas de degradação

A degradação é um fenômeno progressivo. A partir do momento que surge determinada anomalia, sem o tratamento eficiente, a tendência será de aumento com o decorrer do tempo e possível aumento da taxa de velocidade em caso de exposição a agentes agressivos (variação térmica e mecânica, umidade, deformações específicas diferenciadas das camadas que compõem o sistema, dentre outros). Neste sentido, a evolução da degradação representa o comportamento apresentado por um elemento ao longo da sua vida útil e reflete a velocidade com que as fachadas ou seus elementos perdem sua capacidade funcional, ou seja, deixam de atender aos requisitos exigidos (SHOHET *et al.*, 1999; GASPAR; BRITO, 2008).

Para representar a perda de capacidade funcional das fachadas Gaspar (2009), baseado nos estudos de Shohet *et al* (1999), adotou a representação gráfica desse fenômeno por intermédio de curvas de degradação (Figura 3.1). Essas curvas de degradação podem apresentar diferentes configurações em função dos mecanismos de degradação, podendo ser obtidas a partir de uma regressão (tendência) dos quantitativos de degradação, podendo ser representadas em função de diversos mecanismos de degradação e mostrar que fator é mais representativo no comportamento temporal das degradações. A Figura 3.1 mostra os diferentes tipos de curvas que podem ser associadas ao processo de degradação (SHOHET *et al.*, 1999; GASPAR, 2009).

A curva de tendência linear está associada às ações de agentes atmosféricos permanentes (radiação solar ou ventos). O elemento analisado apresenta uma perda constante de sua capacidade funcional ao longo do tempo.

A curva côncava representa o desenvolvimento de fenômenos de degradação acelerado nas idades iniciais, contudo, com o decorrer do tempo, essa evolução da degradação se torna menos acelerada. Observa-se este comportamento em degradações provocadas pela ação de micro-organismos que podem provocar manchas ou, a ocorrência de eflorações.

A curva convexa está associada a fenômenos físicos e químicos, cuja ação inicial é geralmente lenta, contudo, com o decorrer do tempo, por associação e sinergismo entre as

anomalias, ocorre um aumento no processo de degradação. Essa curva apresenta, portanto, a melhor configuração para representar os fenômenos de degradação.

A curva discreta é atribuída a fenômenos que podem ocorrer em qualquer período de vida útil de determinado elemento ou material, expressos numa função descontínua. Esses fenômenos se caracterizam por apresentar forma espontânea ou aleatória, podendo ocorrer em função do uso, de fissuras resultantes de recalque estrutura 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.

A curva em “S” representa fenômenos associados a anomalias que ocorrem em idades recentes, ou seja, logo após a conclusão de obra. 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.

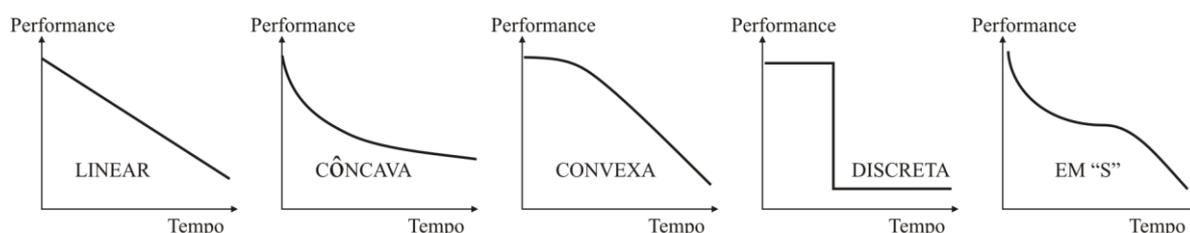


Figura 3.1 – Curvas de degradação (adaptado de Shohet *et al* (1999) e Gaspar (2009)).

3.2.2 Nível Geral de Degradação (NGD) da fachada

Para estabelecer um modelo de NGD de fachadas de rebocadas, Gaspar e Brito (2008) apresentaram uma versão de seu estudo que consistia em vistorias em fachadas feitas pelo próprio pesquisador que complementou sua amostragem com os levantamentos de inspeções realizados por Silvestre (2005) em fachadas de Portugal.

Dessa maneira, Gaspar e Brito (2008) conseguiram estabelecer um banco de dados de cem edifícios na região metropolitana de Lisboa, Portugal, escolhidos aleatoriamente e filtrados, a fim de selecionar os estudos de caso baseados nos seguintes critérios: a) edifícios com fachada rebocadas, b) não há registros conhecidos de deterioração como resultado de ações acidentais e, c) com registros das ações de manutenção efetuadas anteriormente ou a idade

da construção. A última condição é considerada indispensável para que o padrão de variação do NGD (equação 3.1) em função do tempo possa ser identificado.

$$NGD = \Sigma [(A_n \times k_n \times k_{a,n}) / (A_f \times k)] \quad (3.2)$$

Onde,

NGD – Nível Geral de Degradação, em porcentagem;

A_n – Área de uma fachada afetada por n defeitos, em metros quadrados;

k_n – Nível de n defeito, onde k_n fica contido no intervalo $\{0, 1, 2, 3, 4\}$;

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

$k_{a,n}$ – Importância relativa dos defeitos detetados, onde $k_{a,n}$ equivale ao custo do reparo;

A_f – Superfície da fachada exposta, em metros quadrados.

Gaspar e Brito (2011) apresentam a curva de degradação média da amostra estudada para os valores determinados do NGD ao longo do tempo, expresso em porcentagem de incidência (Figura 3.2). Uma vez que diferentes níveis de referência mínimos de desempenho são estabelecidos, os diagramas de dispersão podem fornecer uma metodologia simples para estimar a vida útil e posteriormente a incorporação dos resultados em metodologias que utilizam o método fatorial.

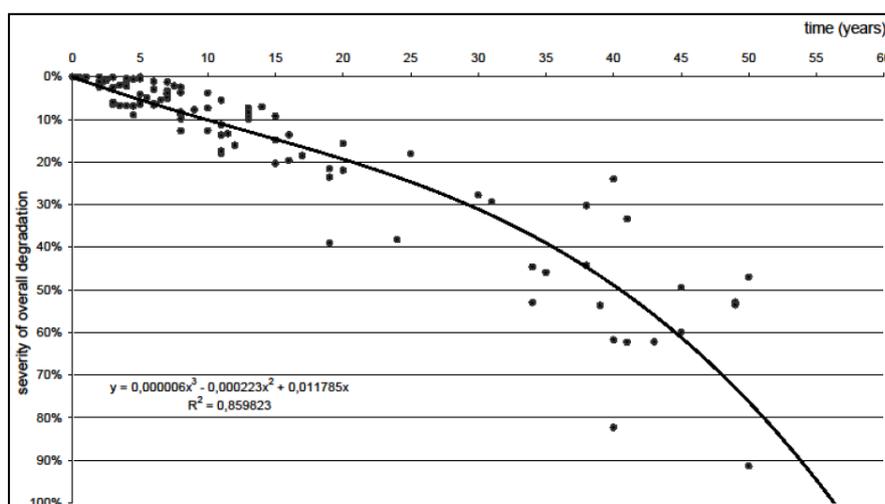


Figura 3.2 – Diagrama de dispersão e curva de degradação média de 100 resultados de campo, expressando o Nível Geral de Degradação (NGD) ao longo do tempo (GASPAR; BRITO, 2011).

Embora possa ser possível estabelecer padrões de desenvolvimento independente para cada um dos modos de falha estudados - manchas, fissura e descolamento - até um nível crítico ser atingido, o NGD é um indicador de degradação global. Este indicador considera os efeitos de sobreposição de todos os modos de falha, de acordo com o nível da respectiva condição, apesar de somente parte da fachada ser afetada, permitindo a quantificação de diferentes estudos de caso em termos de área, localização, geometria da fachada, condições de exposição, dentre outros aspectos. A validação do modelo foi feita com base entrevistas e opiniões de especialistas.

Gaspar (2009) ainda complementou sua pesquisa apresentando uma proposta de quantificação dos fatores que influenciam a durabilidade das fachadas com revestimento em reboco por intermédio de uma aplicação do Método Fatorial (HOVDE, 2002).

Gaspar (2009) efetuou adaptações ao modelo fatorial e verificou que, apesar das variações associadas ao resultado final do método, este serve apenas de enquadramento às decisões sobre o parque construído e não para previsões absolutas da durabilidade dos componentes analisados, pelo que se consideram inteiramente ajustadas variações nos resultados até cinco anos em torno da estimativa obtida (muito embora, se tenham obtido bandas de variação de apenas três anos, num dos cenários estudados).

3.3 MODELO PROPOSTO POR SOUSA (2008)

Sousa (2008) apresenta um estudo de degradação em revestimentos cerâmicos de edifícios de Portugal. Sousa (2008) fez uma adaptação dos estudos de Gaspar e Brito (2005) que também estudaram os fenômenos de degradação em fachadas rebocadas. A metodologia proposta consistia em um levantamento das patologias, a partir de inspeção visual, das patologias que ocorrem em fachadas com revestimento cerâmico e posterior análise quantitativa da degradação.

As curvas de degradação foram definidas através do estudo de várias anomalias ao longo do tempo, através da comparação do estado de conservação em diversos edifícios com diferentes idades. A metodologia para a estimativa da vida útil dos revestimentos

cerâmicos desenvolvida por Sousa (2008) foi baseada nos modelos propostos por Gaspar e Brito (2005). Este modelo foi desenvolvido para determinar quantitativamente a estimativa da degradação global do revestimento.

Sousa (2008) utilizou uma amostra de 117 fachadas com revestimento cerâmico de edifícios de Portugal. Esta amostra foi obtida de inspeções realizadas por Silvestre (2005) e pela própria pesquisadora. As inspeções foram realizadas com o uso de binóculos e de uma de um fissurômetro (para a determinação da abertura das fissuras, sempre que possível).

A partir dos critérios de gravidade, frequência e importância na evolução da degradação, Sousa (2008) agrupou as anomalias em:

- ✓ Anomalias estéticas;
- ✓ Fissuração;
- ✓ Deterioração das juntas;
- ✓ Descolamento.

A escolha das anomalias de fissuração e descolamento ocorreu em virtude da frequência com que estas ocorrem. As anomalias estéticas foram agrupadas em: eflorescências, manchas de umidade, alterações do brilho e da cor e os *graffiti*. A escolha da deterioração das juntas se deve à sua importância na evolução da degradação dos revestimentos cerâmicos.

Sousa (2008) adaptou a equação do NGD de Gaspar e Brito (2005) e propôs uma formulação que relaciona a razão entre extensão ponderada do revestimento e a extensão de degradação máxima possível (Equação 3.3). Esta razão permite obter uma variação do valor da severidade da degradação do revestimento entre 0 e 100%; constituindo assim um indicador facilmente interpretável.

$$S = \frac{\sum(A_e \times k_n \times k_{a,n}) + (A_f \times k_n \times k_{a,n}) + (A_j \times k_n \times k_{a,n}) + (A_d \times k_n \times k_{a,n})}{A \times k} \quad (3.3)$$

Onde:

S – Severidade da degradação da fachada normalizada, expressa em percentagem;

A_e – Área de fachada afetada por anomalias estéticas, em m²;

A_f – Área de fachada afetada por anomalias por fissuração, em m²;

A_j – Área de fachada afetada por anomalias por deterioração de juntas, em m²;

A_d – Área de fachada afetada por anomalias por descolamento, em m²;

k_n – Fator de ponderação dos níveis de degradação com $n \in \{1,2,3,4\}$;

$k_{a,n}$ – Fator de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas; caso não exista especificação $k_{a,n}=1$;

k – Fator de ponderação igual ao nível de condição mais elevada da degradação da fachada de área A;

A – Area da fachada, em m²;

Na análise dos resultados da aplicação do modelo de Gaspar e Brito (2005) aos revestimentos cerâmicos inspecionados, Sousa (2008) verificou que a maioria da amostra se encontrava acima do limite de vida útil. Para entender o motivo do elevado estado de degradação, Sousa (2008) efetuou uma análise mais detalhada. Desta análise, concluiu que o modelo se adequava para descrição da amostra. O elevado estado de degradação se deu em virtude do intervalo de idades das fachadas inspecionadas ser de até aos 63 anos, muito acima da vida útil considerada por alguns autores para os revestimentos cerâmicos.

3.4 MODELO PROPOSTO POR SILVA (2009)

Silva (2009) apresenta em sua dissertação uma linha de investigação desenvolvida anteriormente para os rebocos exteriores correntes e para os revestimentos cerâmicos de fachada, sendo a metodologia de calculo adaptada aos revestimentos de paredes de pedra natural. Esta metodologia baseia-se no levantamento dos fenômenos de degradação presentes em casos concretos, obtidos em trabalho de campo que possibilitaram a definição de um padrão de degradação e de uma vida útil de referência. O modelo aplicado permitiu obter resultados bastante aceitáveis, apesar das características diferenciadas dos revestimentos em pedra.

O trabalho foi efetuado com base em inspeção visual realizada em revestimentos de pedra natural, a fim de fazer o levantamento das anomalias visíveis a partir de um levantamento superficial do estado de conservação, com o intuito de quantificar as variáveis a utilizar no modelo de previsão da vida útil.

As curvas de degradação foram definidas através do estudo de várias anomalias ao longo do tempo, através da comparação do estado de conservação em diversos edifícios com diferentes idades. No trabalho de campo foram inspecionados cento e vinte quatro casos de edifícios com revestimentos pétreos, tendo sido descartados quatro desses casos, pois apresentavam um comportamento de degradação muito diferente dos demais casos.

A metodologia para a estimativa da vida útil dos revestimentos pétreos adotada pela autora foi baseada nos modelos propostos por Gaspar (2009). O modelo adotado permite determinar um índice numérico que forneça uma estimativa da degradação global do revestimento. O modelo apresentado por Gaspar (2009) apresenta uma melhoria do método anteriormente apresentado Gaspar (2002) em sua dissertação de mestrado.

Para determinar o indicador de degradação proposto pelo modelo foi necessário obter as seguintes informações durante o trabalho de campo:

- Área do revestimento pétreo da fachada;
- Área degradada da fachada ou a extensão da sua degradação, para cada tipo de anomalia;
- Área degradada ponderada, obtida através da multiplicação da área afetada por cada anomalia por um fator de ponderação, fator esse que traduz a importância relativa do tipo de anomalia.

Gaspar (2009) considerou que a constante de ponderação igual ao nível de condição mais elevada de degradação toma o valor 4; no entanto, no levantamento da autora, as anomalias estéticas e em juntas nunca atingiram este nível de degradação, ao contrário do que acontece com as anomalias na fixação ao suporte e de perda de integridade. Por este motivo, a autora adaptou a equação do NGD de Gaspar (2009) e optou por estabelecer a razão entre extensão ponderada do revestimento e a extensão de degradação máxima

possível, tal como indicado na equação (3.4). Esta razão permite obter uma variação do valor da severidade da degradação do revestimento entre 0 e 100%; constituindo assim um indicador facilmente interpretável.

$$S_{w,rp} = \frac{\Sigma(A_e \times k_n \times k_{a,n}) + (A_j \times k_n \times k_{a,n}) + (A_f \times k_n \times k_{a,n}) + (A_i \times k_n \times k_{a,n})}{A \times \Sigma(k_{máx})} = \frac{E_w}{E_{w,máx}} \quad (3.4)$$

Onde:

$S_{w,rp}$ – Severidade da degradação do revestimento pétreo, expressa em percentagem;

A_e – Área do revestimento afetada por anomalias estéticas, em m²;

A_j – Área do revestimento afetada por anomalias em juntas, em m²;

A_f – Área do revestimento afetada por anomalias na fixação ao suporte, em m²;

A_i – Área do revestimento afetada por anomalias de perda de integridade, em m²;

k_n – Fator de ponderação das anomalias n, em função do nível de degradação (k varia entre 0 e 4);

$k_{a,n}$ – Coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detectada;

$k_{a,n}$ assume o valor 1 em caso da inexistência de qualquer especificação;

A – Área total do revestimento, em m²;

$\Sigma(k_{máx.})$ – Somatório das constantes de ponderação iguais ao nível de condição mais elevada da degradação de um revestimento de área A;

E_w – Extensão da degradação ponderada do revestimento;

$E_{w,máx.}$ – Extensão da degradação ponderada máxima do revestimento.

As curvas de degradação obtidas a partir dos dados de campo mostraram o comportamento dos revestimentos pétreos ao longo do tempo. Estas curvas de degradação foram obtidas através de uma regressão linear que se ajusta a uma linha polinomial de grau 3 à nuvem de pontos dos casos estudados (Figura 3.3).

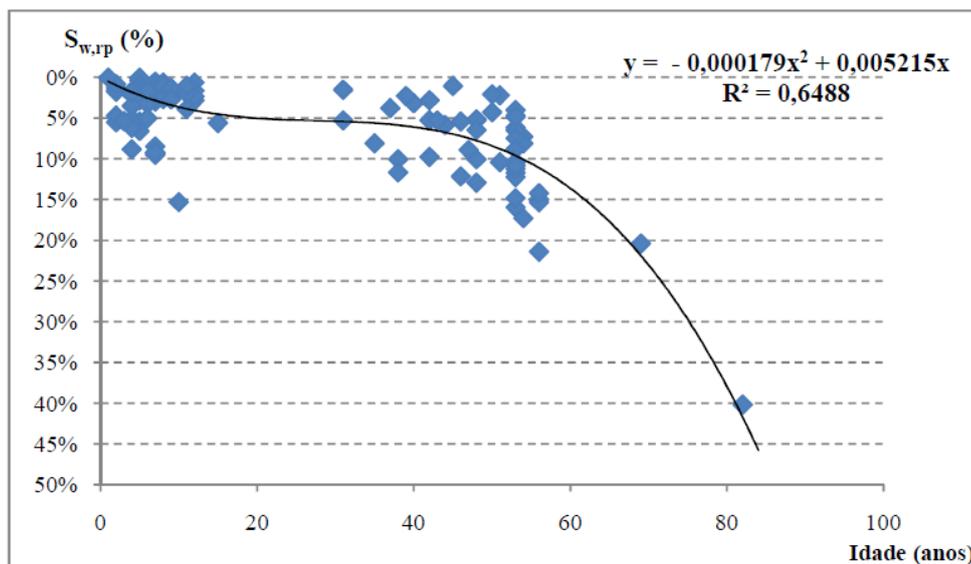


Figura 3.3 – Curva de degradação com o valor da severidade da degradação ($S_{w,rp}$) obtida a partir de cento e vinte casos analisados no trabalho de campo (SILVA, 2009).

A curva de degradação obtida indica uma tendência dos revestimentos em pedra sofrerem danos precoces que aparentemente estabilizam ao longo do tempo mas sofrem uma degradação acelerada na fase terminal da sua vida.

3.5 MODELO PROPOSTO POR TAGUCHI (2010)

Taguchi (2010) desenvolveu em sua dissertação uma proposta de avaliação de desempenho das vedações verticais em alvenaria de blocos ou tijolos cerâmicos baseados em inspeções visuais, qualificando e classificando as patologias. Para tanto o autor adaptou o método fornecido pelo FIB (1998), originalmente proposto para estruturas de concreto, para vedações verticais.

O método proposto permite identificar os casos mais deteriorados através de um Índice de Danos para poder planejar uma análise mais detalhada e intervenção de reparos, além de um Fator de Deterioração.

Taguchi (2010) adotou um procedimento de avaliação qualitativo e quantitativo com as seguintes fases:

- Observação visual e verificação preliminar das condições das alvenarias;
- Identificação das regiões ou elementos mais criticamente danificados e determinação da extensão do dano;
- Determinação de um índice numérico para os danos no elemento ou no conjunto considerado, baseado em observações visuais da intensidade e extensão dos danos;
- Avaliação quanto à segurança.

A expressão geral baseada no boletim do CEB FIB para a determinação do índice de performance do elemento (IP) corresponde a soma dos fatores para cada tipo de dano i no elemento inspecionado conforme equação (3.5),

$$IP = \sum D = \sum B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (3.5)$$

Onde:

IP – Índice de performance do elemento;

D – Índice dos danos;

B_i – Valor básico associado ao tipo de dano i ;

K_{1i} – Fator da importância do elemento de vedação;

K_{2i} – Fator indicativo da intensidade do dano i ;

K_{3i} – Fator indicativo da extensão do dano i ;

K_{4i} – Fator indicativo da urgência de intervenção para o dano i .

O parâmetro B_i expressa o valor da importância relativa do tipo de dano em relação aos demais inspecionados com relação à segurança e/ou durabilidade do elemento inspecionado. O autor considerou os destacamentos com importância relativa superior a umidade e manchas, adotando um valor maior para B_i . A Tabela 3.1 associa valores de B_i com a classe de severidade. O parâmetro K_{1i} expressa a importância do elemento dentro do contexto da edificação ou uma de suas partes. Por outro lado o parâmetro K_{2i} é determinado através de critério de avaliação visual qualitativa, varia em quatro escalas de valores (Tabela 3.2). Nesta pesquisa foram inspecionadas alvenarias convencionais, com fator de importância unitária;

3.5.1 Severidade ou nível de gravidade dos danos

Para Taguchi (2010), o estado de conservação dos revestimentos existentes pode ser caracterizado pelos tipos de anomalias que revelam e pelo grau com que se manifestam. Enquanto um revestimento fissurado, mesmo que em grau elevado, pode ser reparado com alguma facilidade, recorrendo a técnicas bastante conhecidas, o mesmo não se passa quando há deficiências de aderência ao suporte ou de coesão entre as partículas, cuja preservação exige o emprego de técnicas mais caras e complexas.

A severidade da anomalia relaciona o grau mais ou menos elevado da degradação, além de sua reparação baseada numa escala pré-definida por Gaspar (2005) para a classificação da degradação.

Tabela 3.1 – Classe de severidade (GASPAR, 2005; TAGUCHI, 2010).

Tipo de dano	B _i	Classe de severidade			
		1	2	3	4
		5~10%	11~30%	31~50%	>50%
Umidades	1	Leve, aparente	Leve, aparente	Localizada	Extensas infiltrações
Manchas	1	Leve, aparente	Presença de fungos, mofos, eflorescências	Pintura/textura, desagregados	Extensas manchas de fungos, mofos, eflorescências
Destacamento	2	Leve, aparente	Leve desagregação da cor, textura	Arestas e cantos danificados	Separação de paredes/muros ou revestimento cerâmico, pedra
Fissuras	2	Eventual fissura capilar, <0,1mm	Fissuras visíveis com lente 0,1~0,3mm	Trincas visíveis a olho nu, 0,3~10mm	Fissuras extensas, fragmentação da superfície

Tabela 3.2 – Grau de danos (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).

Classe de severidade	Grau	Critério	K_{2i}
0	Não detectado	Não detectado na inspeção visual	0
1	Baixo, inicial	Danos de pequenas dimensões, geralmente visíveis em poucas áreas dos elementos.	0,5
2	Médio, em propagação	Danos de médias dimensões, confinados em ambientes, ou danos de pequenas dimensões visíveis em pequenas áreas dos elementos (<2%)	1
3	Alto e/ou ativo	Danos de grandes dimensões, visíveis em muitos elementos, ou em grandes áreas do elemento (25~75%)	1,5
4	Muito alto ou crítico	Danos muito grandes, visíveis na maior parte dos elementos (>50%)	2

O fator K_{3i} sendo fator indicativo da extensão varia em quatro escalas de valores (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Extensão dos danos (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).

Critério	K_{3i}
Danos confinados em um ambiente	0,5
Danos aparentes em vários elementos da mesma edificação (<25%)	1,0
Danos aparentes em vários elementos da mesma edificação (25~75%)	1,5
Danos aparentes na maioria dos elementos da mesma edificação (>75%)	2,0

O parâmetro K_{4i} indica a urgência de intervenção com base no grau de deterioração, consequências, segurança dos elementos e usuários, e forma de intervenção (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Urgência de intervenção (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).

Critério	K_{4i}
Intervenção não necessária, danos não afetam segurança, estética e durabilidade.	1
Danos devem ser reparados dentro de um período de 1 ano para prevenção da durabilidade, segurança e funcionalidade.	2 a 3
Reparos imediatos pois estão afetando a segurança e funcionalidade.	3 a 5
Interdição temporária ou limitação de tráfego.	5

3.5.2 Índice de Performance global ou do conjunto

A expressão geral para a determinação do Índice de Performance global (IP_g) é definido pela equação (3.6), complementada pelas equações 3.7 a 3.10.

$$IP_g = 100 \times (\Sigma D_{ef} / \Sigma D_{ref}) \quad (3.6)$$

Onde:

$$D_{ef} = \Sigma K_{1m} \times M_{m,ef} \quad (3.7)$$

$$D_{ref} = \Sigma K_{1m} \times M_{m,ref} \quad (3.8)$$

$$M_{m,ef} = \Sigma B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (3.9)$$

$$M_{m,ref} = \Sigma B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \times 1 \quad (3.10)$$

Sendo,

IP_g – Índice de performance global;

D_{ef} – Soma dos danos efetivos do elemento ou conjunto inspecionados;

D_{ref} – Soma referência dos danos do elemento ou conjunto inspecionados;

K_{1m} – Fator de relevância do elemento (igual a 1, na presente pesquisa);

M_{m,ef} – Soma reduzida dos danos efetivos do elemento;

M_{m,ref} – Soma referência reduzida dos danos do elemento.

Na expressão (3.6), Taguchi (2010) adotou a divisão da soma dos danos efetivos pela soma referência de maneira a se evitar que o índice de performance global (IP_g) fosse demasiadamente afetado pelo número de tipos de danos e pelo número de elementos.

A Tabela 3.5 fornece a Classe de Deterioração para cada elemento ou conjunto de elementos, grau de deterioração, consequências, prazo para intervenção em função do valor do Índice de Performance (IP_g) determinado.

Tabela 3.5 – Classe de deterioração (FIB, 1998; TAGUCHI, 2010).

Classe	Descrição da deterioração, intervenções necessárias, exemplos de deterioração	Ip - Índice de performance
I	Sem danos	0 à 5
II	Baixo grau de deterioração	3 à 10
III	Médio grau de deterioração	7 à 15
IV	Alto grau de deterioração	12 à 25
V	Grave grau de deterioração	22 à 35
VI	Crítico grau de deterioração	≥ 30

A classe sem danos se refere somente a deficiências construtivas (irregularidades geométricas, estéticas, descoloração).

Baixo grau de deterioração indica que somente após longo período de tempo a vedação poderá ter sua funcionalidade ou durabilidade reduzida, se não for reparada na época apropriada. O local deteriorado pode ser reparado com baixo custo como parte da manutenção regular (pequenas fissuras, manchas, e/ ou umidades localizadas, destacamentos internos localizados).

O médio grau de deterioração indica possível redução da funcionalidade e durabilidade do elemento de vedação sem requer quaisquer limitações de uso. O local deteriorado deverá ser reparado em período curto (fissuras médias, grandes deficiências construtivas, defeitos de impermeabilização, grandes machas, destacamentos internos).

Alto grau de deterioração representa a classe com reduzida funcionalidade e durabilidade do elemento de vedação, entretanto, não requer sérias limitações de uso. São necessários

reparos imediatos para preservar a funcionalidade e durabilidade (grandes fissuras, porém não comprometem a estabilidade, grandes deficiências construtivas, sérias deficiências na impermeabilização, umidade generalizada, manchas generalizadas, destacamento externo generalizado).

Na classe grave grau de deterioração ocorre uma redução de funcionalidade (paredes não servem de suporte ou apoio), necessitando medidas de proteção (isolamento ou escoramento) e reparos imediatos (grandes rachaduras, destacamentos generalizados, grandes infiltrações).

Quando a classe se encontra em nível crítico de grau de deterioração existe elevada ou total redução da funcionalidade, necessitando isolamento ou interdição do local para reparos extensos e imediatos.

A qualificação das patologias das alvenarias, caracterizadas pelo método proposto de acordo com o índice de performance do elemento (IP) ou do conjunto (IP_g) analisado, forneceram subsídios para uma avaliação equilibrada de cada elemento e do conjunto de elementos.

O método proposto pelo autor forneceu, de forma rápida, com baixo custo e sem a necessidade de equipamentos, importantes informações quanto ao grau de estética, segurança, higiene e suas limitações de uso e prazo de reparos ou intervenções, além de fornecer um indicativo gerencial da condição geral da alvenaria. Fornece ainda uma importante ferramenta para a padronização na avaliação de patologias das edificações possibilitando estabelecer uma classificação dos elementos ou mesmo das edificações quanto a severidade dos danos.

Os resultados obtidos por Taguchi (2010), mesmo com pequeno número de estudos de casos, demonstraram a facilidade e a coerência dos índices de performance obtidos e a proximidade das intervenções adotadas ou a serem adotadas. Dessa maneira, o autor validou sua justificativa e aplicabilidade nos meios técnicos pela facilidade de elaboração, interpretação dos resultados e padronização do método, além de fornecer a possibilidade de uma avaliação mais aprofundada com uso de equipamentos ou outros tipos de exames mais específicos e detalhados.

3.6 RESUMO DOS MODELOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE DANOS

Na Tabela 3.6 se apresenta um resumo dos modelos para quantificação da degradação de sistemas construtivos utilizados pelos pesquisadores Shohet *et al* (1999), Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Gaspar (2009), Silva (2009) e Taguchi (2010) e que são utilizados como referência para estudos que contemplam a avaliação da mensuração de danos em vedações verticais.

Tabela 3.6 – Resumo dos modelos de cálculo, em geral, utilizados para análise de degradação e vida útil de edifícios.

REFÊRENCIAS	PROBLEMA/TEORIA	FORMULAÇÃO
Shohet <i>et al.</i> (1999).	Método fatorial	$Y = Y_s \times A \times B \times C \times D \times E \times F$
Gaspar e Brito (2008), Gaspar e Brito (2011)	Modelo gráfico	$NGD = \Sigma [(A_n \times k_n \times k_{a,n}) / (A_r \times k)]$
Sousa (2008) e Silva (2009)	Modelo gráfico	$S = \Sigma [(A_n \times k_n \times k_{a,n}) / (A_r \times k)]$
Taguchi (2010)	Método fatorial	$IP = \Sigma D = \Sigma B_1 \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i}$

3.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste Capítulo foi feito um levantamento da bibliografia nacional e internacional que trata de estudos quantitativos de degradação de fachadas. As referências que tratam de estudos relacionados à degradação de fachadas vêm avançando em virtude das diversas manifestações patológicas observadas. Surge, portanto, a necessidade da compreensão dos mecanismos que afetam os processos patológicos dos edifícios e suas partes. Neste sentido são apresentados quatro estudos em âmbito internacional e um estudo nacional. Estes estudos abordam os modelos quantitativos de degradação que serviram como base para o estudo da degradação e vida útil de fachadas de edifícios de Brasília.

O modelo desenvolvido por Shohet *et al.* (1999) trata de um modelo analítico fatorial para a estimativa de vida útil de três tipos de revestimentos de fachadas: estuque, cerâmica ou mosaico e revestimentos em pedra. O autor efetuou a análise de trinta mecanismos de falhas que podem condicionar o surgimento das patologias em revestimentos de fachadas, sistematizando um banco de dados de patologias que ocorrem nos componentes e sistemas construtivos.

Essa ferramenta proposta por Shohet *et al.* (1999) se encontra bastante difundida no meio técnico servindo como base de referência para diversos pesquisadores como Gaspar e Brito (2008), Gaspar (2009), Gaspar e Brito (2011), Sousa (2008) e Silva (2009). Estes autores também desenvolveram modelos de cálculo para a quantificação da degradação e estimativa da vida útil de diferenciados tipos de sistemas de revestimentos (revestimento rebocado, revestimento cerâmico e revestimento em pedra).

No Brasil se destaca o estudo de Taguchi (2010) que fez uso do método fatorial desenvolvido pelo FIB 1998 para estruturas de concreto. Para utilizar este modelo de cálculo, Taguchi (2010) fez uma adaptação para vedações verticais de edifícios. O autor mostrou que esta ferramenta se apresenta de forma simples e eficiente para a avaliação da performance dos casos estudados.

Estes modelos de quantificação de processos de degradação serviram como referência para o modelo proposto neste presente estudo, que consiste em avaliar quantitativamente a evolução da degradação em fachadas compostas com revestimento cerâmico localizadas na cidade de Brasília/DF.

4 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Existem diversas propostas metodológicas para inspeção de fachadas envolvendo uma menor ou maior etapa do processo. Cada profissional, técnico ou pesquisador, pode estabelecer uma metodologia diferenciada em função de diversas particularidades: a localização (cidade ou país), a cultura local, o tipo de material de revestimento, o tipo de edificação (residencial, multifamiliar, comercial ou ainda as especiais, como edificações tombadas pelo patrimônio histórico) (SOUSA, 2008; GASPAR, 2009; GASPAR; BRITO, 2011, SILVA, 2009; TAGUCHI, 2010; ANTUNES; 2010).

A metodologia proposta neste presente estudo procura estabelecer uma ferramenta que permita estudar os fenômenos que promovem o surgimento e a evolução dos processos de degradação das fachadas. Neste sentido este trabalho apresenta uma sistematização da avaliação do comportamento da degradação em fachadas com revestimento cerâmico.

Este estudo se baseia no avanço metodológico de avaliação e diagnóstico da degradação em fachadas adotado pelo Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM – UnB) com adaptação de uma ferramenta que vem sendo aperfeiçoada por Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Gaspar (2009) e utilizada nos estudos de Antunes (2010), cuja finalidade consiste em associar as manifestações patológicas com os fatores de degradação (extensão do dano, importância característica de cada dano e custo de reparação). Complementam-se ainda as análises com o Método Fatorial de Danos desenvolvido na Eslovênia (FIB, 1998).

Importa salientar que o método fatorial se encontra bastante difundido no meio científico, sendo uma ferramenta de quantificação utilizada em diversos estudos sobre vida útil (SHOHET *et al.*, 1999; HOVDE, 2004, GASPAR, 2009).

A Figura 4.1 mostra as etapas da metodologia proposta neste estudo que contempla as etapas de: levantamento dos dados, tratamento dos dados, análise preliminar, análise final com proposta de modelo de cálculo de degradação e estimativa de vida útil.

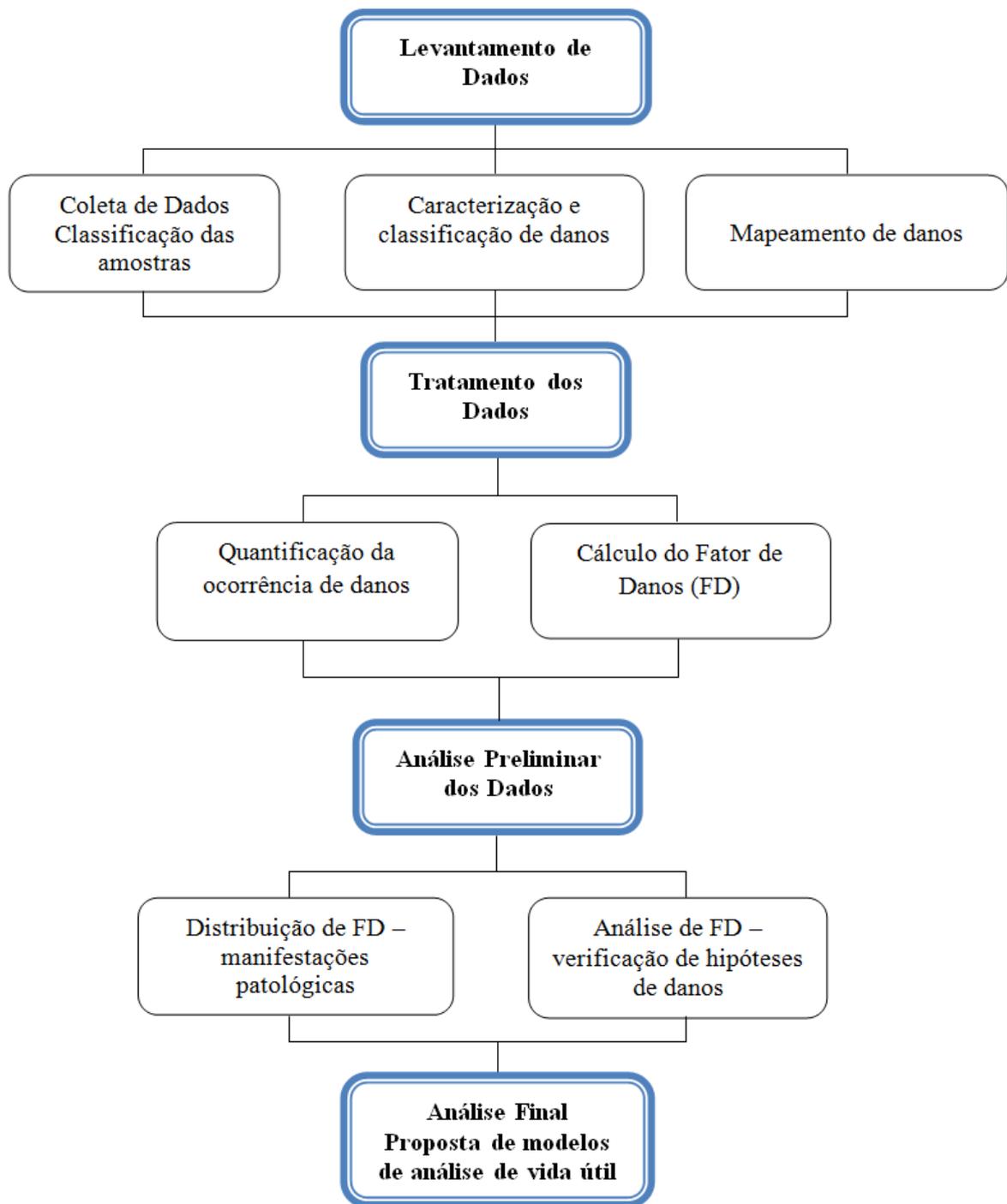


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

É importante destacar que todas as amostras de fachadas utilizadas neste estudo foram obtidas do banco de dados de inspeções de edifícios realizadas pela equipe do LEM – UnB. Ressalta-se que as amostras já haviam sido estudadas pela equipe do LEM – UnB para atender à demanda técnica, ou seja, consistia na inspeção das fachadas dos edifícios com propósito definido: identificação das anomalias e patologias, diagnóstico e orientação quanto aos procedimentos a serem adotados.

As amostras utilizadas neste estudo fazem parte de acervo de inspeções técnicas de edifícios realizados conforme metodologia desenvolvida e aplicada pelo Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília – LEM/UnB que fundamenta-se, basicamente, em cinco fases: investigação documental, investigação de campo, ensaios laboratoriais, mapeamentos de danos da fachada e diagnóstico (BAUER *et al.*, 2010; BAUER *et al.*, 2011).

- Investigação documental

A fase de investigação documental consiste no levantamento do máximo de informações que forneçam as características arquitetônicas, a tipologia do edifício, a orientação das fachadas, o nível de exposição às intempéries, o sistema estrutural (concreto armado, aço ou alvenaria estrutural), o sistema construtivo, especificações e projeto do sistema de revestimento de fachada, a idade do edifício, o tipo de uso e ainda a existência e frequência das manutenções e reparos.

- Investigação de campo

A fase de investigação de campo consiste em vistorias *in loco* para a realização de inspeções visuais detalhadas com registro fotográfico amplo de todas as fachadas do edifício, além de registro fotográfico ampliado com detalhes específicos das regiões degradadas que permitam localizá-la na amostra de fachada. A inspeção visual para identificação das manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios faz uso de instrumentos como: binóculos, câmera fotográfica digital com boa resolução, câmeras especiais (infravermelho), além do uso de técnicas de rapel para percussão, observação visual ou coleta de amostras da superfície em altura.

O levantamento fotográfico é muito importante na inspeção, uma vez que registra e guarda a imagem da fachada, dando suporte e esclarecimento para toda a fase exploratória dos levantamentos de danos nas fachadas.

A inspeção deve ser capaz de identificar falhas e danos visíveis existentes no sistema de revestimento de fachada, tais como regiões onde ocorrem e os tipo de patologias de descolamentos, fissuras, eflorescências, falhas construtivas, infiltrações (BAUER *et al.*, 2010; BAUER *et al.*, 2011). Nesses casos específicos, além dos levantamentos da extensão dos danos, identificam-se as camadas constituintes, as espessuras das camadas e os agentes de degradação.

- Ensaios laboratoriais

Na fase de ensaios *in loco* são realizados ensaios de aderência à tração (*pull-out*) para auxiliar na identificação da estabilidade mecânica da fachada. São realizados ainda ensaios laboratoriais de caracterização dos materiais (ensaios de absorção e gretamento dos elementos cerâmicos). Estes ensaios fornecem características comportamentais dos elementos cerâmicos que permitem auxiliar no entendimento do mecanismo de ocorrência das patologias.

- Mapeamento dos danos

Na fase de mapeamento são registrados os danos visíveis em um croqui obtido a partir de um desenho esquemático da área da amostra estudada. O mapeamento da fachada destaca as regiões das fachadas que apresentam ocorrência de patologias visando quantificar a incidência de danos e definir a gravidade dos mesmos em um mapa de danos.

- Diagnóstico

A fase de diagnóstico consiste em estabelecer critérios, a partir das informações anteriores, que permitam estabelecer hipóteses para formular os mecanismos específicos responsáveis pela origem e desenvolvimento das anomalias que ocorrem nas fachadas inspecionadas.

Deve-se observar que Brasília apresenta particularidades específicas em virtude da sua própria concepção, uma vez que foi uma cidade idealizada e projetada para ser a capital do Brasil. Neste contexto, particularmente no que concerne aos edifícios residenciais situados

no Plano Piloto, observa-se uma uniformidade no gabarito, normalmente construídos sobre pilotis.

A idade da maioria dos edifícios mais antigos se confunde com a idade da cidade de Brasília, construída em 1960, ou seja, cinquenta e quatro anos. Assim sendo, as fachadas de Brasília já apresentam uma faixa etária relativamente extensa e, por conseguinte, com boa representatividade amostral.

Os revestimentos em placas cerâmicas apresentam diferenciação no processo de execução ao longo de 50 anos. Nota-se que não somente os elementos estruturais, mas também as vedações e os sistemas de revestimento sofreram uma evolução tecnológica, principalmente, no que concerne aos materiais componentes dos referidos sistemas, mais notadamente na argamassa de emboço, nas placas cerâmicas e no rejunte. Brasília passou por esta evolução tecnológica e apresenta, dessa maneira, edifícios com características construtivas diferenciadas em relação ao período de construção (ANTUNES, 2010).

4.1.1 Coleta de dados e classificação das amostras

Os dados utilizados neste presente estudo foram obtidos do acervo técnico do LEM – UnB. Os relatórios das inspeções disponibilizado selecionados inicialmente em função da idade das fachadas inspecionadas. Essa seleção permitiu verificar se havia fachadas com idades diferenciadas que permitissem elaborar uma análise temporal. Dado o volume de informações de inspeções serem consideráveis, optou-se por trabalhar com doze edifícios inspecionados. Neste sentido, todo o planejamento deste estudo se baseia em resultados de inspeções realizadas em determinado período pela equipe do LEM – UnB. As amostras foram, portanto, sistematizadas e incorporadas às análises propostas neste estudo (Apêndice A).

Ressalta-se que, apesar do volume considerável de inspeções, o acervo de inspeções apresentava algumas lacunas em certas idades das amostras. Essas lacunas ocorrem porque as inspeções realizadas pela equipe do LEM – UnB têm somente a finalidade de suprir as demandas técnicas.

Neste sentido, com base nos Relatórios de Inspeções realizadas pelo LEM – UnB foram

selecionados doze edifícios com características construtivas semelhantes de maneira a minimizar as variáveis que possam interferir nos resultados e análises. Brasília é uma cidade planejada e apresenta um campo amostral com edifícios bastante similares, principalmente na forma horizontal. Essa horizontalidade é mais característica em edifícios residenciais localizados no Plano Piloto. Em Brasília normalmente são encontrados sistemas construtivos em estrutura de concreto armado e fechamentos em alvenarias de vedação em blocos cerâmicos. Os edifícios são, na grande maioria, erguidos sobre pilotis e grande parte das fachadas é constituída por revestimentos cerâmicos ou revestimentos em argamassa com acabamentos em pintura.

As fachadas de edifícios de Brasília apresentam tipologia semelhante, possuindo, em geral, 6 andares e pilotis com fachadas revestidas parcial ou totalmente com placas cerâmicas. Neste sentido, nas amostras que apresentam composições de mais de um tipo de sistema de revestimento, somente são considerados as regiões de fachada revestidas com elementos cerâmicos. As demais fachadas com acabamento em reboco, elemento vazado, pedras naturais, placas metálicas, dentre outros tipos não são consideradas neste estudo. Essa mesma filosofia é aplicada para edifícios com mais de seis andares, ou seja, neste presente estudo se impõe uma limitação da altura dos edifícios em até seis pavimentos e topo de maneira a padronizar as referidas amostras.

A escolha do tipo de edificações se baseia na uniformidade das seguintes características: tipologia construtiva, tipo de materiais, volumetria da fachada (POYASTRO, 2011), fator de continuidade do revestimento (panos contínuos da fachada), número de pavimentos, localização, microclima do entorno, dentre outros. Essa uniformidade da amostra permite reduzir as variáveis inerentes dos edifícios e estabelece padrões comportamentais mensuráveis e comparativos dos fatores de degradação. Foram efetuados levantamentos de prédios com diferentes idades com o objetivo de observar o fenômeno temporal de propagação da degradação das fachadas.

As amostras de fachadas estão localizadas em Brasília-DF, distribuídas no Plano Piloto (região 1 e 2, Asa Norte e Asa Sul, respectivamente), Setor Sudoeste (região 3), Águas Claras (região 4) e Taguatinga (região 5), sendo que a maioria das amostras se concentram no Plano Piloto. A Figura 4.2 mostra o mapa de Brasília com a identificação dos locais em que as amostras de fachadas utilizadas neste estudo estão situadas.

A cidade de Brasília está localizada na latitude 15°78 Sul, longitude 47°93 Oeste. Sua altitude chega a 1160 m (ABNT NBR 15575-1:2013). Caracterizada pelo clima Tropical de Altitude, de acordo com a classificação de Köppen, a cidade possui duas estações distintas: quente-úmida (outubro a abril) e quente-seca (maio a setembro) (BRAGA; AMORIM, 2004).

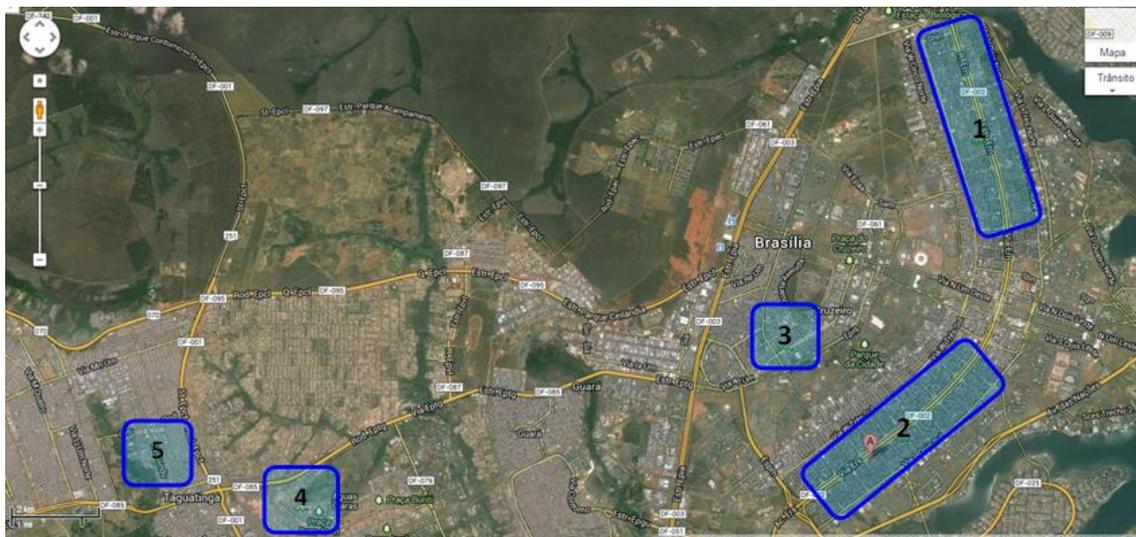


Figura 4.2 – Mapa de Brasília com a identificação dos locais em que as amostras de fachadas utilizadas neste estudo estão situadas.

A Tabela 4.1 mostra a caracterização das amostras de fachadas para cada edifício em função da idade, da localização em cinco regiões de Brasília (Figura 4.2), da quantidade de amostra por idade, da identificação das empenas e prumadas com suas respectivas orientações.

As empenas apresentam área total de fachada muito inferior às áreas das prumadas, geralmente são diferenciadas em empenas cegas (quando apresentam panos contínuos). A Figura 4.3 mostra como as fachadas são classificadas nessa categoria (prumada e empena).

A amostra analisada consiste em 12 edifícios que, divididos por prumada e empena, geram um conjunto de 90 amostras no total. A área média das fachadas equivale a 315,00 m², perfazendo um total de 28.383,00 m² de área total de amostras de fachadas com revestimento cerâmico.

Tabela 4.1 – Características das amostras de edifícios com identificação por edifício, idade, quantidade de andar, prumada, empena e total de amostras por edifício.

Identif.	Localiz./ Região	Idade (Anos)	Quantidade (Un)				Referência
			Andar	Prumada	Empena	Total	
ER-001	1	6	3	10	2	12	Bauer <i>et al.</i> , 2006 ^a
ER-002	4	6	6	4	-	4	Bauer <i>et al.</i> , 2007 ^a
ER-003	1	9	6	8	2	10	Bauer <i>et al.</i> , 2007 ^b
ER-004	5	19	6	2	2	4	Bauer e Castro, 2009
ER-005	1	5	6	2	2	4	Bauer <i>et al.</i> , 2008
ER-006	3	17	6	3	-	3	Bauer <i>et al.</i> , 2007 ^c
ER-007	1	5	6	4	-	4	Bauer <i>et al.</i> , 2006 ^b
ER-008	1	8	6	5	2	7	Bauer <i>et al.</i> , 2010
ER-009	2	36	6	13	4	17	Bauer <i>et al.</i> , 2006 ^c
ER-010	1	32	6	6	2	8	Bauer <i>et al.</i> , 2006 ^d
ER-011	3	10	6	8	2	10	Bauer <i>et al.</i> , 2009
ER-012	1	9	6	6	1	7	Antunes, 2010
Total				71	19	90	



Figura 4.3 – Identificação da prumada e empena em uma amostra de fachada.

A Figura 4.4 apresenta as amostras de edifícios selecionados a partir do banco de dados do LEM – UnB. Os edifícios residenciais de Brasília possuem certa regularidade em sua forma. Esses edifícios apresentam, na grande maioria, formato retangular com disposição horizontal. Os edifícios apresentam duas fachadas laterais principais (frontal – entrada principal e posterior) e duas fachadas laterais menores (empenas).

Ressalta-se que três amostras (ER-002, ER-004 e EC-007) apresentam mais de seis andares. Contudo, neste estudo, todas as análises se restringem são efetuadas considerando a altura do edifício até 6 pavimentos de maneira a minimizar o efeito da variável altura. No que concerne ao tipo de utilização, excluindo a amostra EC-007 (Edifício comercial), todas as demais amostras são compostas por edifícios residenciais.



Figura 4.4 – Identificação das mostras de edifícios com revestimento cerâmico utilizadas no presente estudo.

As amostras de edifícios são sistematizadas para atender ao propósito deste presente estudo, ou seja, são catalogadas, classificadas pela idade e por informações relativas à característica peculiar de cada edifício (Apêndice A). Sendo assim, as amostras são divididas em elementos funcionais como: idade, orientação, prumadas, empenas, posição

relativa do andar da amostra de fachada e ainda são divididas por diferentes regiões de ocorrência de anomalias. A identificação completa de toda a amostragem consta no Apêndice B (Tabela B.1).

4.1.2 Caracterização e classificação dos danos nas amostras

Esta etapa fundamenta-se na obtenção das informações necessárias para incorporar subsídios para compreensão do problema observado. Sua estruturação baseia-se na elaboração de um quadro geral das manifestações observadas, com descrição das evidências que provocaram a degradação da fachada. As inspeções visuais e os levantamentos fotográficos realizados em todas as fachadas pela equipe do LEM – UnB permitiram obter e elencar a ocorrência das manifestações patológicas em cada fachada.

A inspeção realizada nas amostras de fachadas fornece um banco de dados com as informações preliminares relativas exclusivamente a cada amostra em particular, entretanto, para uma análise mais abrangente, há que se estabelecer uma correspondência de causa e efeito, tendo em vista a complexidade dos fenômenos que podem estar associados às diversas manifestações patológicas observadas nas fachadas. O levantamento de danos fornece as primeiras informações referentes aos tipos de manifestação patológica desta pesquisa, principalmente com relação aos tipos mais frequentes observados nos levantamentos.

Para este presente estudo foram elencadas as manifestações que ocorrem com maior frequência em fachadas com revestimento cerâmico localizadas em Brasília (BAUER *et al.*, 2010; ANTUNES, 2010). Assim sendo, as manifestações patológicas caracterizadas para as avaliações da evolução da degradação em fachadas são:

- ✓ Descolamento de peças cerâmicas (DC)
- ✓ Falha de rejunte (FR)
- ✓ Fissuração (FI)
- ✓ Eflorescência (EF)
- ✓ Falha de vedação (FV)

4.1.3 Mapeamento de danos das amostras

O mapeamento das manifestações patológicas visíveis por prumada ou empena do edifício é feita à partir da inspeção em campo. Neste estudo, o mapeamento das amostras já havia sido efetuado pela equipe do LEM – UnB. Os mapeamentos foram, portanto, sistematizados para atender ao procedimento metodológico proposto neste estudo. Sendo assim, os mapeamentos de cada amostra foram sistematizados da seguinte maneira:

- ✓ Classificação por idade;
- ✓ Classificação por orientação da fachada;
- ✓ Classificação por prumada e empena;
- ✓ Divisão por região;
- ✓ Divisão por andar;
- ✓ Sobreposição por uma malha para a contagem das anomalias.

Para a classificação das amostras por idade, fez-se uma investigação no acervo do LEM – UnB para recolher informações pertinentes à data da inauguração do edifício até a data em que foi efetuada a inspeção da fachada.

As orientações das amostras de fachadas foram classificadas a partir de localização obtida por intermédio do *Google Maps*. A Figura 4.5 (a) e (b) mostram a localização e o detalhe com a aproximação da imagem da amostra ER-011.

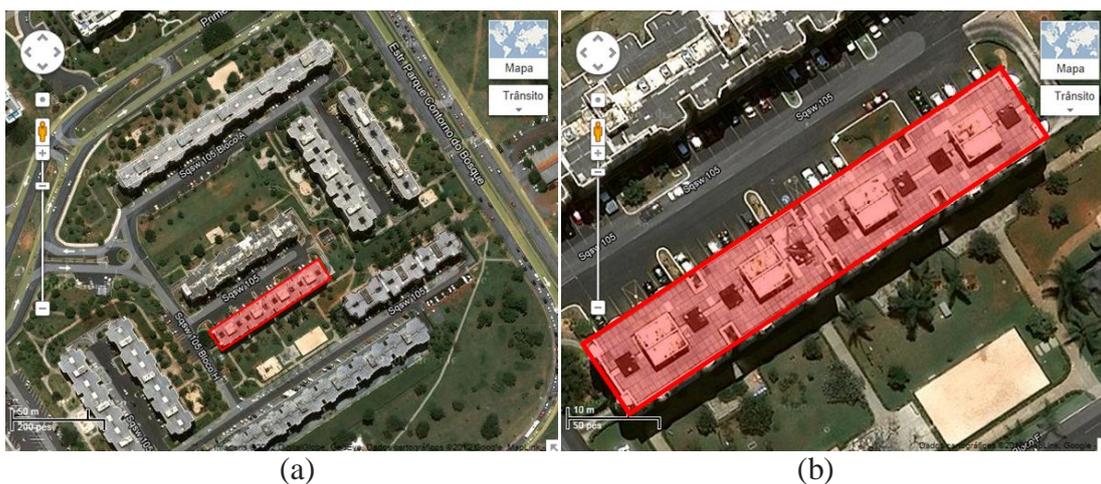


Figura 4.5 – Imagem com localização e detalhe da amostra ER-011.

As amostras foram agrupadas em quatro quadrantes que definiram quatro faixas de orientação que são delimitadas pelos azimutes (Figura 4.6), a saber:

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

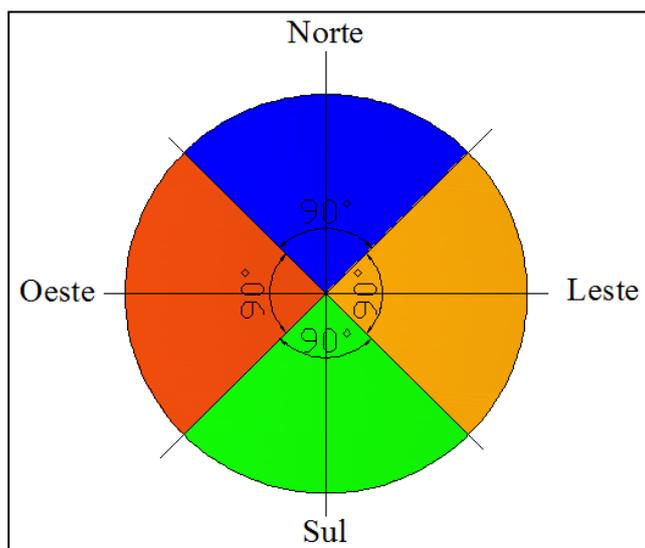


Figura 4.6 – Amplitude dos quadrantes Norte (N), Leste (L), Sul (S) e Oeste (O) para classificação da orientação das amostras de fachadas.

A Figura 4.7 mostra a forma como a orientação é efetuada. A amostra ER-011 apresenta empenas (menor dimensão) orientadas à 56° a partir do eixo norte, ou seja, a mesma fica classificada como empena Leste. Consequentemente, as prumadas ficam orientadas a Norte.

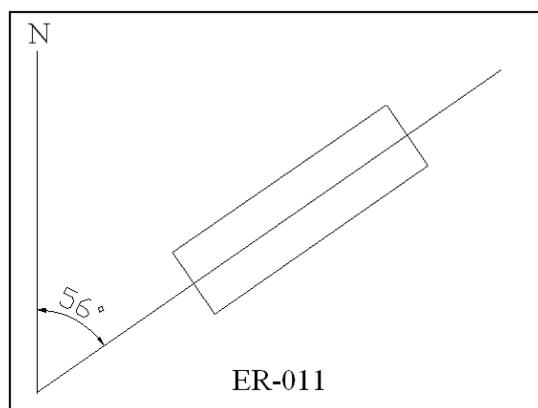


Figura 4.7 – Orientação da amostra de fachada ER-011 (56° L)

A classificação por prumada e empena consiste em separar as fachadas laterais em função de sua extensão. As fachadas classificadas como prumadas recebem uma segunda classificação em função da quantidade dessas prumadas. A Figura 4.8 mostra o modelo de divisão de uma fachada em quatro prumadas. Essa divisão é feita nas divisas das juntas de movimentação estruturais.



Figura 4.8 – Divisão da amostra de fachada (ER – 011) em quatro prumadas (P-1, P-2, P-3 e P-4) entre as juntas de movimentação estrutural.

A classificação por prumada e empena, juntamente com a classificação por orientação constituem, portanto, o campo amostral (90 amostras) utilizado para o cálculo e avaliação da degradação e estimativa de vida útil mínima das fachadas com revestimento cerâmico localizadas em Brasília.

A divisão das fachadas por região se baseia na metodologia proposta por Gaspar e Brito (2008) que definiram seis regiões de análise de fachada. Antunes (2010), por sua vez, em seu estudo sobre a incidência de manifestações patológicas em Brasília, fez uma adaptação daquela metodologia e estabeleceu oito diferentes regiões de análise tipo nas fachadas. Sendo assim, com base nestes dois pesquisadores, este estudo atual, também estabelece uma classificação em sete regiões de análise, conforme mostra a Figura 4.9: (1) sobre paredes contínuas, (2) em torno das aberturas (janelas, portas, elementos vazados, etc.), (3) no topo (platibanda, abaixo de cornijas, rufos e beirais), (4) em sacadas ou varandas, (5) nos cantos e extremidades, (6) acerca das juntas, e em havendo ausência de juntas de movimentação horizontal a cada pé direito, (7) na transição entre pavimentos.

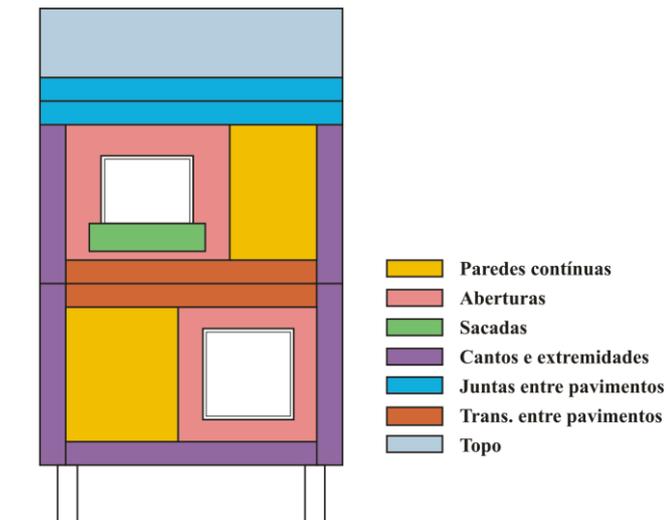


Figura 4.9 – Representação esquemática das regiões de análise tipo numa fachada (Adaptado de Gaspar e Brito (2008) e Antunes (2010)).

A quantificação dos danos por andar e região são obtidas por contagem simples na medida em que são detectados em uma malha sobreposta sobre a amostra. Essa contagem fica registrada em fichas identificadas para cada edifício, especificadas por prumada ou empena inspecionada, além da orientação cardinal de cada fachada e informações relacionadas a cada amostra (Tabela 4.2). Cada prumada ou empena é dividida por pavimentos e por tipo de regiões de análise.

A malha a ser utilizada foi concebida com abertura nas dimensões de 0,50m x 0,50m, equivalente a uma área de 0,25 m². A área de 0,25 m² adotada para este estudo foi concebida a partir de testes em malhas com outras dimensões (1,60 x 1,60, 1,00 x 1,00, 0,70 x 0,70) m e, após verificar os resultados dos levantamentos das áreas de danos, houve a necessidade de maior refinamento da resolução até chegar na malha utilizada (0,50m x 0,50m (Apêndice C).

A Figura 4.15(a) mostra o mapeamento e a Figura 4.10(b) mostra a malha sobreposta sobre o mapeamento. Cada unidade da malha equivale a um dano (detalhe da Figura 4.10(b)), ou seja, se for observado 3 unidades de malha em que aparece um descolamento, por exemplo, isso equivale a 3 unidades do respectivo dano. Para converter essas 3 unidades de dano em metro quadrado basta multiplicar pela área da unidade de malha, ou seja, multiplica-se por 0,25m². Essa contagem das anomalias por metro quadrado é posteriormente utilizada nos cálculo dos fatores de degradação das fachadas.

Tabela 4.2 – Modelo de ficha para quantificação de patologias por prumada, empena, orientação, andar, tipo de manifestação patológica e tipo de região de análise para uma amostra de fachada.

Edifício:					Data ocupação:	
Endereço:		Idade:			Data vistoria:	
Orientação:					Obs:	
Andar	Localização do dano	Tipo de manifestação patológica				
		Descol. Cerâm.	Falha de Rejunte	Fissuras	Eflorescência	Falha de Vedação
1º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
2º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
3º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
4º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
5º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
6º	Parede contínua					
	Aberturas					
	Sacadas					
	Cantos extrem.					
	Juntas					
	Transiç. pav.					
Topo						

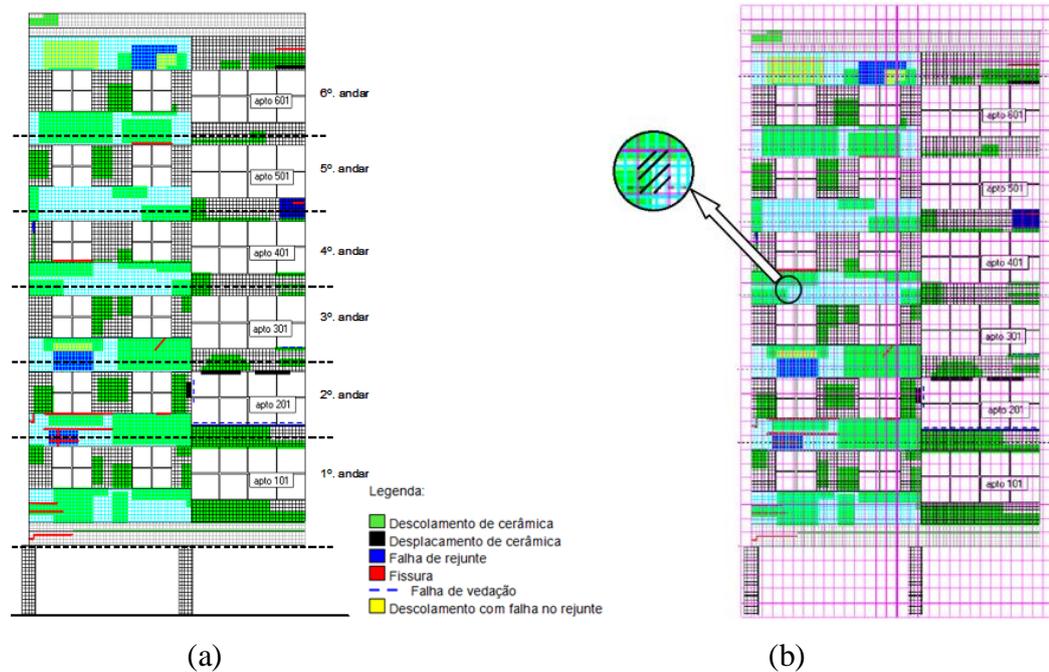


Figura 4.10 – Esquema de mapeamento de danos (a) e sobreposição de malha nos mapeamentos das fachadas analisadas com detalhe de uma unidade de área de dano.

A identificação e classificação das manifestações patológicas foram efetuadas com base no Guia Técnico de Identificação de Manifestações Patológicas (Antunes, 2010). Este guia apresenta diferentes manifestações patológicas por meio de fichas com registro fotográfico e informações técnicas que facilitam a identificação e caracterização de danos que ocorrem em sistemas de revestimento de fachadas.

Cabe ressaltar uma característica peculiar das fachadas de edifícios de Brasília, ou seja, a posição da linha de pilares nos pilotis. A Figura 4.11 mostra essa configuração recuada da linha de pilares para a parte interna do edifício é observada em grande parte das amostras e pode ser um fator importante na caracterização das anomalias observadas no primeiro.



Figura 4.11 – Detalhe do posicionamento recuado dos pilares dos edifícios de Brasília.

As áreas que compõem cada região representam uma subdivisão da área total da fachada. Cada região, pela sua localização, apresenta uma área diferente, maior ou menor, dependendo do tipo de região. Por exemplo, a região de parede contínua é bem maior que a região de transição entre pavimentos. Sendo assim, com o objetivo de quantificar as áreas de dano em regiões com áreas diferentes se faz necessário estabelecer um fator de ponderação (fator de correção) que contemple essas associações das áreas diferenciadas de cada região, ou seja, se faz necessário ponderar a área das regiões danificadas em função das diferentes áreas das regiões. Para tanto, divide-se cada área representativa das regiões (parede contínua, aberturas, sacadas, cantos e extremidades, juntas e topo) pela área da região da transição entre pavimentos (região que apresenta a menor área), ou seja, atribuem-se proporcionalmente pesos maiores para regiões com menores áreas. Esse cálculo é efetuado para a amostra ER-002 (por apresentar patologias em todas as regiões) e atribuído para todas as demais amostras. A Tabela 4.3 mostra os valores estabelecidos para as ponderações.

Tabela 4.3 – Valores de ponderação das regiões de fachadas.

Região	Área da Região de análise (m ²)	Fator de Correção (FC)
Paredes contínuas	63,75	0,20
Aberturas	20	0,63
Sacadas	55,5	0,23
Cantos e extremidades	33,75	0,37
Juntas	20,5	0,61
Transição entre pavimentos	12,5	1,00
Topo	34	0,37

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

As amostras de fachadas são tratadas de maneira sistematizada a partir de duas linhas de processo de quantificação preliminar de patologias em revestimentos cerâmicos de fachadas.

- Quantificação da ocorrência de patologias
- Cálculo do Fator de Danos

4.2.1 Quantificação da ocorrência de patologias

Essa etapa dos estudos desta pesquisa consiste na elaboração de planilhas que permitam organizar, identificar e classificar todas as amostras de maneira a permitir efetuar um diagnóstico inicial em função somente da ocorrência do Fator de Dano (FD) associado à cada tipo de manifestação patológica (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) observada nas amostras. A partir do levantamento fotográfico, mapeamento e divisão das fachadas por intermédio de uma malha de 0,50m por 0,50m, efetua-se o cálculo das ocorrências para cada tipo específico de manifestação patológica para todas as amostras. Ressalta-se que a sistematização das amostras permite calcular o Fator de Danos (FD) em função da idade, orientação, região de ocorrência de danos e altura relativa do dano por andar das fachadas.

Esta apresentação dos resultados preliminares dos levantamentos das manifestações patológicas observadas permite ainda obter os resultados gerais das ocorrências para cada tipo de amostra de edifício e ainda apresenta o resultado para o Fator de Dano das fachadas.

Os resultados das análises são apresentados por intermédios de gráficos que permitem observar, em termos percentuais, as incidências de manifestações patológicas tanto em função da orientação das fachadas, bem como em função de regiões pré-estabelecidas das fachadas ou ainda em função da altura da fachada (andar da fachada).

4.2.2 Cálculo do Fator de Danos (FD)

O Fator de Dano de área de fachada permite mensurar o primeiro estágio do estado de degradação das fachadas, uma vez que este fator relaciona a área de manifestações patológicas em função da área total de fachada (Equação 4.1). Este fator permite estabelecer um parâmetro inicial de análise da degradação, tendo em vista que fachadas que apresentam maiores valores para o Fator de Danos são aquelas em que se constata maior processo de degradação.

$$FD = \frac{A_d}{A} \times 100 \quad (4.1)$$

Onde,

FD – Fator de Dano da fachada (%);

A_d – Área de manifestação patológica observada na amostra de fachada (m^2);

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

Este Fator de Dano da fachada permite estabelecer uma análise inicial de quantificação da degradação para cada fachada, servindo como balizamento para análises mais complexas das manifestações patológicas e posterior mensuração do nível geral de degradação dos sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas.

4.3 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

O estudo da degradação proposto neste estudo é abordado em duas linhas de estudo:

- Distribuição do Fator de Danos (FD) das manifestações patológicas
- Análise do Fator de Danos – verificação de hipótese de causas de patologias

4.3.1 Distribuição do Fator de Danos (FD) das manifestações patológicas

O Fator de Danos (FD) surge como uma ferramenta de análise inicial da condição em que se encontram as amostras de fachadas, baseado única e exclusivamente em função da observação do dano em relação à área da amostra a ser analisada. Neste sentido, com base no resultado dos fatores de danos para cada tipo de manifestação patológica, faz-se uma distribuição destes fatores de danos para tipificar o seu comportamento no campo amostral.

Para uma análise preliminar, os resultados dos fatores de danos são separados tanto para o total de amostras bem como para cada tipo de manifestação patológica, ou seja, os resultados serão apresentados da seguinte maneira:

- Fator de Danos Total (FD – TOTAL);
- Fator de Danos de descolamento cerâmico (FD – DC);

- Fator de Danos de falha de rejunte (FD – FR);
- Fator de Danos de fissuras (FD – FI);
- Fator de Danos de eflorescência (FD – EF);
- Fator de Danos de falha de vedação (FD – FV).

A análise destes resultados pretende estabelecer uma visão ampla acerca da distribuição de todos os resultados dos fatores de danos (FD) das manifestações patológicas (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação). A distribuição da frequência de ocorrência dos fatores de danos permite analisar o comportamento das manifestações patológicas e se existe regularidade ou predominância da ocorrência das mesmas na amostra considerada. Mostra, dessa maneira, uma topografia de todos os resultados dos fatores de danos.

4.3.2 Análise do Fator de Danos (FD) – verificação de hipóteses de causas das patologias

Nesta fase os dados utilizados nos cálculos do nível de degradação geral são dispostos em planilhas e tabelas de ocorrências por tipo de patologias, bem como outras influências para facilitar a análise crítica dos modelos de degradação por intermédio das curvas de degradação características do mecanismo de degradação.

A análise do Fator de Danos é feita com base em hipóteses ou questionamentos a respeito das causas da origem e progresso da degradação de fachadas. Essas hipóteses são apresentadas na discussão dos resultados (Capítulo 5).

Essas hipóteses são verificadas a partir de critérios de influência de condicionantes no processo de degradação. Para este presente estudo foram estabelecidos cinco variáveis que podem condicionar os resultados dos fatores de danos em fachadas:

- ✓ Influência do tipo de dano;
- ✓ Influência da idade das fachadas;
- ✓ Influência da orientação das fachadas;
- ✓ Influência da altura da fachada na ocorrência do dano.

- ✓ Influência da região de análise das fachadas.

4.4 ANÁLISE FINAL

A apresentação dos resultados das variáveis foi feita por intermédio de modelos de quantificação da degradação representados graficamente através de curvas de degradação das fachadas com ênfase na influência da idade e orientação das fachadas.

4.4.1 Modelos de quantificação da degradação

Neste presente estudo as análises das curvas de degradação são efetuadas a partir de três modelos de cálculo de degradação em fachadas com revestimento cerâmico:

- Modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD);
- Modelo baseado no Fator de Danos Combinado (FDC);
- Modelo baseado no Método Fatorial de Danos (MFD).

A opção pelos três modelos de análise de danos reside na necessidade de se avaliar o comportamento da evolução da degradação em fachadas por intermédio de modelos de cálculo já validados por outros pesquisadores como Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Taguchi (2010) e verificar sua aplicabilidade às amostras de fachadas de Brasília.

Busca-se, por intermédio destes três métodos de cálculo, encontrar inicialmente um modelo que possa representar a evolução da degradação das fachadas com revestimento cerâmico e ainda sistematizar um único modelo que seja mais simples, rápido e mais funcional na representatividade da estimativa de vida útil das fachadas.

4.4.1.1 Modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD)

O modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD) foi adaptado de estudos de pesquisadores portugueses (GASPAR; BRITO, 2008; SOUSA, 2008; GASPAR, 2009; SILVA, 2009). Consiste em um modelo de cálculo de degradação ponderado por pesos

referentes aos diferentes tipos de anomalias consideradas no levantamento efetuado por intermédio das inspeções em fachadas.

O FGD proposto neste presente estudo utiliza modelo adaptado por Sousa (2008) para fachadas com revestimento cerâmico. O FGD atua como uma ferramenta de cálculo do percentual de degradação e estimativa da vida útil de fachadas. Esta ferramenta de análise permite estabelecer, a partir de uma relação ponderada de diversos tipos de danos, o estágio de degradação total das amostras de fachada. As análises dos resultados do FGD são efetuadas em função da idade e da influência da orientação cardinal nas fachadas de Brasília.

O FGD considera dois pesos ou patamares de degradação no cálculo das degradações: o peso relativo do custo de reparo das anomalias e o peso referente à condição de gravidade da respectiva anomalia. Possibilita, dessa forma, estabelecer um grau de degradação das fachadas com revestimentos cerâmicos, ou seja, mostra o estado em que se encontram as fachadas e indica o grau de velocidade com que ocorre o processo de degradação. Esse fenômeno pode ser observado por intermédio da inflexão das curvas de degradação.

O FGD estabelece uma relação cumulativa ponderada por variáveis (condição do dano e custo de reparação) condicionantes do processo de degradação. A Equação 4.2 consiste no modelo de cálculo proposto neste presente estudo e permite determinar o valor do FGD das amostras de fachadas.

$$FGD = \sum [(A_n \cdot k_n \cdot k_{c,n}) / (A \cdot k)] \quad (4.2)$$

Onde:

FGD – Fator Geral de Danos (%);

A_n – Área de uma fachada afetada por n tipos de anomalias (m²);

k_n – Nível de condição de n 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).

Os fatores de ponderação k , k_n e $k_{c,n}$ refletem e estabelecem pesos de importância para cada tipo de dano ou anomalia causados por descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescências e falha de vedação que ocorrem em fachadas com revestimento cerâmico. Esses fatores estão diretamente relacionados à área danificada por cada tipo específico de dano (A_n) e são inversamente proporcionais à área total da fachada (A). O termo A_n corresponde à área afetada por danos (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescências e falha de vedação) obtidos a partir da identificação, mapeamento das fachadas e quantificação dos danos.

A ponderação dos fatores 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 e do custo de reparação desses danos. A Tabela 4.4 mostra os valores dos fatores de ponderação atribuídos aos diferentes tipos de danos.

A constante k varia também de 0,0 a 4,0 (Tabela 4.4). Esta constante estabelece o padrão máximo de degradação. Assume, portanto, o nível mais acentuado ou ainda o referencial máximo da degradação observada para todos os dados amostrais. Neste estudo em particular, esta constante assume o valor 4,0, ou seja, o maior nível associado aos danos. Atribuir o maior valor numérico de ponderação presume a situação mais crítica de determinada amostra.

A variável k_n varia de 0,00 (sem danos) a 4,00 (estado grave de degradação), em escala exponencial (Tabela 4.4), representando o nível de dano. No caso dos revestimentos cerâmicos os fenômenos de degradação ocorrem de forma gradual, existindo uma fase inicial de baixa relevância (0,00; 0,02 e 0,20), e uma fase de propagação (2,00 e 4,00) na qual pode ocorrer inclusive a sobreposição ou mesmo a irreversibilidade da ação entre os danos, ou seja, um determinado dano pode afetar ou ser afetado por outro dano. Esta

variável possui relação direta com o critério estabelecido qualitativamente para a propagação relativa de cada tipo de dano em função da ameaça de risco de cada dano na fachada. Esses valores de k_n foram obtidos do estudo de Sousa (2008) e adaptados aos tipos de anomalias de descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação em fachadas com revestimento cerâmico de Brasília.

Tabela 4.4 – Níveis de degradação dos revestimentos de fachada (adaptado de Bordalo *et al.*, 2010 e Bordalo *et al.*, 2011).

Nível de condição (k)	Tipo de dano	Nível de ponderação da extensão do dano (k_n)	Custo de reparo (R\$/m ²)	Fator relativo de custo de reparo ($k_{c,n}$)
Nível 0 – Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	-	-	-
Nível 1 – Boa condição	-	-	-	-
Nível 2 - Degradação suave	Falha de rejunte	0,20	8,40	0,06
	Eflorescência		16,00	0,12
	Falha de vedação		10,90	0,08
Nível 3 - Degradação elevada	-	-	-	-
Nível 4 – Degradação grave (extrema)	Fissuras	4,00	136,70	1,00
	Descolamento cerâmico		113,00	0,82

A variável $k_{c,n}$ (Tabela 4.4) é o fator relativo de custo de reparo e representa a ponderação da importância relativa atribuída ao custo de reparação de cada tipo de dano n (onde $n=1$ - descolamento de cerâmica, $n=2$ - falha de rejunte, $n=3$ - fissuras, $n=4$ - eflorescência e $n=5$ - falha de vedação). Esta variável é adimensional e obtida em função da proporção pelo custo de reparo mais elevado (Custo de reparo de fissura – R\$ 136,70/m²). Os valores associados à essa variável foram calculados através da composição de custo unitário para serviços de reparos em Brasília (Tabela 4.4 e Apêndice D – Tabela D.1).

Neste presente estudo se propõe uma análise da degradação que considera somente dois níveis de degradação associados aos danos. Trata-se a condição de atuação das patologias de descolamento cerâmico e fissuras com o mesmo grau de importância no processo de degradação, ou seja, ambos são considerados manifestações patológicas decisivas no estado de degradação da amostra (degradação grave de nível 4). As patologias de falha de rejunte, eflorescência e falha de vedação são consideradas com igual importância (degradação suave de nível 2).

Estes níveis de condição dos danos foram adaptados de Sousa (2008), associando cada patologia a um único grau de importância. Ressalta-se que a filosofia deste presente estudo se baseia em um procedimento simples e rápido de análise. Neste sentido, os fatores de ponderação que diferenciam pontualmente cada tipo de patologia é o custo de reparação, tendo em vista que cada tipo de patologia requer custos diferenciados para sua reparação.

O processo de cálculo do FGD é efetuado para cada amostra e seus respectivos danos (descolamento de cerâmica, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação). Para esclarecimento do procedimento de aplicação dos fatores de ponderação utilizados no cálculo do FGD são apresentados os dados (Tabela 4.5) de uma das amostras deste estudo (amostra ER-009(PS1), prumada-1 com orientação Sul), além do exemplo do cálculo do $FGD_{ER-009(PS1)}$ para a referida amostra (Equação 4.3).

Tabela 4.5 – Valores das variáveis consideradas no exemplo de cálculo do FGD da amostra de fachada ER-009(PS1).

Tipo de dano (n)	A_n (m ²)	A (m ²)	FD (%)	k_n	k	$K_{c,n}$
Descolamento cerâmico	109,00	268,25	40,63%	4,00	4,00	0,82
Falha de rejunte	10,50		3,91%	0,20		0,06
Fissuras	13,25		4,94%	4,00		1,00
Eflorescência	-		-	-		-
Falha de vedação	4,00		1,49%	0,20		0,08

$$FGD_{ER-009(PS1)} = \frac{(109,00 \times 4,00 \times 0,82 + 10,50 \times 0,20 \times 0,06 + 13,25 \times 4,00 \times 1,00 + 4,00 \times 0,20 \times 0,08) \times 100}{268,25 \times 4,00} = 38,3\% \quad (4.3)$$

Nesta amostra (ER-009(PS1)) não foram observados danos do tipo eflorescência. Considerando, portanto, todos os fatores intervenientes, esta amostra apresenta um valor de FGD de 38,3%. Ressalta-se que os valores do FGD determinados para cada amostra são posteriormente analisados em função da idade e orientação cardinal das fachadas.

4.4.1.2 Modelo baseado no Fator de Danos Combinado (FDC)

O Fator de Danos Combinado (FDC) atribui um peso de importância relativa ao Fator de Danos (FD), ou seja, pondera a extensão dos danos diretamente em relação ao custo de

reparação das anomalias no processo de degradação (Equação 4.4), retratando, dessa forma, uma interpretação simples do estado de deterioração das fachadas.

Este método de cálculo de degradação foi proposto para em virtude do mesmo promover uma forma direta de avaliação de danos em termos de ponderação de variáveis associadas à importância relativa de determinado dano. O Fator de Danos, conforme descrito no item 4.2.2 estabelece uma visão panorâmica do estado de degradação das amostras de fachadas considerando a influência direta dos tipos de patologias (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, falha de vedação e eflorescência). Neste sentido, o método aqui proposto (FDC) busca verificar a influência do custo da reparação dos danos na evolução da degradação. Os valores dos fatores de ponderação custo ($k_{c,n}$) atribuído à cada tipo de manifestação patológica constam na Tabela 4.4.

$$FDC = \sum_1^n (FD_n \times k_{c,n}) \quad (4.4)$$

Onde:

n = tipo de dano (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação)

FD = Fator de Dano (Equação 4.1)

$K_{c,n}$ = custo relativo de reparo do dano (Tabela 4.4)

O modelo de procedimento de cálculo do FDC é apresentado na Equação 4.5 para a amostra ER-009(PS1) e seus respectivos danos (descolamento de cerâmica, falha de rejunte, fissuras e falha de vedação).

$$FDC_{ER-009(PS1)} = \frac{(109,00 \times 0,82 + 10,50 \times 0,06 + 13,25 \times 1,00 + 4 \times 0,08) \times 100,00}{268,25} = 38,6\% \quad (4.5)$$

4.4.1.3 Modelo baseado no Método Fatorial de Danos (MFD)

O Método de Fatorial de Danos (MFD) se apresenta como uma ferramenta muito utilizada por pesquisadores e especialistas para a análise de vida útil de edifícios e suas partes

(SHOHET *et al*, 1999; GASPAR, 2009; TAGUCHI, 2010). Particularmente este modelo fatorial apresenta uma condução simples do processo de cálculo do índice de degradação por considerar basicamente três fatores de ponderação (intensidade de dano - K_{2i} , extensão do dano - K_{3i} e urgência de intervenção - K_{4i}).

Este método foi adaptado do FIB (1998) e do estudo de Taguchi (2010). O método foi desenvolvido na Eslovênia, originalmente proposto para avaliação de diferentes elementos de estruturas de concreto (FIB, 1998). O método fatorial é uma ferramenta de cálculo muito utilizado por diversos pesquisadores para a estimativa da vida útil dos edifícios (SHOHET *et al*, 1999; HOVDE, 2004; GASPAR, 2009).

Taguchi (2010) fez uma adaptação para alvenaria de vedações verticais em seu estudo realizado em Curitiba-PR para analisar qualitativamente a performance das vedações antes e após os procedimentos de reparos dos danos.

Neste sentido, propõe-se, neste presente estudo, uma adaptação do modelo de Índice de Performance (IP) de Taguchi (2010) para verificar a aplicabilidade do referido método de cálculo na quantificação da degradação das fachadas com revestimento cerâmico localizadas em Brasília.

Neste contexto, propõe-se nova nomenclatura para este presente modelo. Sendo assim as análises das degradações em fachadas serão efetuadas pelo Modelo Fatorial de Danos (MFD) com base na mesma filosofia proposta nos modelos anteriores (FGD e FDC).

A Equação 4.6 mostra a formulação do MFD adaptada para este presente estudo. Este modelo visa quantificar a degradação das fachadas associadas às patologias de descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação.

$$MFD = \frac{ID}{ID_{REF}} \times 100 \quad (4.6)$$

Onde ID (Equação 4.7) e ID_{REF} (Equação 4.8) representam os danos efetivos de cada amostra e da amostra de referência, respectivamente.

$$ID = \sum (B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i}) \quad (4.7)$$

$$ID_{REF} = \sum (B_i \times K_{1i,ref} \times K_{2i,ref} \times K_{3i,ref} \times K_{4i,ref}) \quad (4.8)$$

Sendo,

MFD – Método Fatorial de Danos (%);

ID – Danos efetivos do elemento ou regiões inspecionadas;

B_i – Valor básico associado ao tipo de dano i ;

K_{1i} – Fator da importância do elemento de vedação;

K_{2i} – Fator indicativo da intensidade do dano i ;

K_{3i} – Fator indicativo da extensão do dano i ;

K_{4i} – Fator indicativo da urgência de intervenção para o dano i .

D_{ref} – Danos de referência do elemento ou regiões inspecionadas;

B_i – Valor básico associado ao tipo de dano i ;

$K_{1i,ref}$ – Fator de referência da importância do elemento de vedação;

$K_{2i,ref}$ – Fator de referência indicativo da intensidade do dano i ;

$K_{3i,ref}$ – Fator de referência indicativo da extensão do dano i ;

$K_{4i,ref}$ – Fator de referência indicativo da urgência de intervenção para o dano i .

Os valores de referência aplicáveis aos fatores de ponderação dos danos são:

$K_{1i,ref} = K_{4i,ref} = 1$ e $K_{2i,ref} = K_{3i,ref} = 2$ (FIB, 1998).

O parâmetro B_i expressa o valor da importância relativa do tipo de dano em relação aos demais inspecionados com relação à segurança e/ou durabilidade do elemento inspecionado. O autor considerou os destacamentos com importância relativa superior a unidade e manchas, adotando um valor maior para B_i . A Tabela 4.6 associa valores de B_i com a classe de severidade adaptadas para o presente estudo.

A classe de gravidade do dano atribui um peso em função da importância de cada tipo de patologia (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) no processo de degradação das fachadas. Portanto, patologias consideradas mais graves (descolamento cerâmico e fissuras) ficam associadas ao fator de gravidade mais elevado (4,0), enquanto que as patologias consideradas menos agressivas recebem fatores de gravidade menores (0,2). Esses fatores constam da Tabela 4.4.

Tabela 4.6 – Classe de gravidade do dano (adaptado do FIB (1998) e de Taguchi (2010)).

Tipo de dano	Bi	Classe de gravidade do dano			
		1	2	3	4
		<10%	11~30%	31~50%	>50%
Falha de rejunte	0,2	Leve, aparente	Leve, aparente	Localizada	Extensas infiltrações
Falha de vedação	0,2	Leve, aparente	Leve, aparente	Localizada	Extensas infiltrações
Eflorescência	0,2	Leve, aparente	Presença de fungos, mofos, eflorescências	Pintura/textura, desagregados	Extensas manchas de fungos, mofos, eflorescências
Descolamento	4	Leve, aparente	Leve desagregação da cor, textura	Arestas e cantos danificados	Separação de paredes/muros ou revestimento cerâmico e/ou pedra
Fissuras	4	Eventual fissura capilar, <0,1mm	Fissuras visíveis com lente 0,1~0,3mm	Trincas visíveis a olho nu, 0,3~10mm	Fissuras extensas, fragmentação da superfície

Estes fatores de gravidade foram adaptados do estudo de Sousa (2008) para o caso de degradação de fachadas com revestimento cerâmicos localizados em Portugal. Ressalta-se que os parâmetros k_{2i} , k_{3i} e k_{4i} são utilizados das tabelas 3.2 a 3.4 (Capítulo 3).

O procedimento de cálculo do MFD é apresentado na Equação 4.9 para a amostra ER-009(PS1) e seus respectivos danos (descolamento de cerâmica, falha de rejunte, fissuras e falha de vedação).

$$MFD_{ER-009(PS1)} = \frac{4,00 \times 1,50 \times 1,50 \times 2,40 + 0,20 \times 0,50 \times 0,50 \times 1,00 + 4,00 \times 0,50 \times 0,50 \times 1,00 + 0,20 \times 0,00 \times 0,00 \times 0,00 + 0,20 \times 0,50 \times 0,50 \times 1,00}{4,00 \times 2,00 \times 2,00 \times 1,00 + 0,20 \times 2,00 \times 2,00 \times 1,00 + 4,00 \times 2,00 \times 2,00 \times 1,00 + 0,20 \times 2,00 \times 2,00 \times 1,00 + 0,20 \times 2,00 \times 2,00 \times 1,00} \times 100,00 = 66,0\% \quad (4.9)$$

4.5 PROPOSTA DE MODELO DE ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL

As análises das curvas de degradação pretendem dar suporte na compreensão do comportamento do processo de degradação visando ampliar este conhecimento para a análise de estimativa de vida útil de fachadas.

A análise das curvas de degradação frente à influência de fatores como idade e orientação das amostras de fachadas podem fornecer subsídios confiáveis para quantificar os níveis de propagação, critérios de diagnóstico e correção dos danos em fachadas de edifícios que possam estabelecer, com base científica, índices confiáveis de degradação das edificações de maneira a evitar possíveis problemas de descolamento, fissuração, eflorescências, falhas de rejunte e falhas de vedação que possam gerar consequências desagradáveis que influenciam diretamente o desempenho de edifícios residenciais.

Por intermédio desta metodologia, com implementação de uma rotina de observação, coleta de imagens e quantificação dos danos dos dados amostrais (banco de dados e de campo) de edifícios em serviço através dos níveis de degradação das fachadas dos edifícios, os resultados obtidos podem ser utilizados por pesquisadores, usuários e administradores de edifícios, em uma cooperação visando agregar pesquisa e prática.

A proposta desta pesquisa consiste, sobretudo, na sistematização das rotinas de tratamento e cálculo dos fatores de degradação em fachadas com revestimento cerâmico que permitam estabelecer padrões de falhas e estimativa de vida útil mínima. A rotina de avaliação da degradação das fachadas consiste, dessa maneira, em uniformizar o processo de análise de maneira simples e prática permitindo sua utilização, bem como a continuidade do estudo por outros pesquisadores.

4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste Capítulo se apresenta a metodologia utilizada para as análises da degradação das fachadas com revestimento cerâmico da cidade Brasília. A metodologia consiste em estabelecer os procedimentos adotados na condução deste estudo e esclarecer os critérios para a escolha da amostragem, sua sistematização, o tratamento e as análises dos

resultados. A metodologia proposta neste estudo contempla as etapas de: levantamento dos dados, tratamento dos dados, análise preliminar, análise final com proposta de modelo de cálculo de degradação e estimativa de vida útil.

Destaca-se que o objetivo desta pesquisa consiste na avaliação da degradação e vida útil das fachadas com revestimento cerâmico. Neste sentido, fez-se uso da amostra de edifícios já inspecionados pela equipe do LEM-UnB, sistematizando o procedimento de quantificação das áreas da fachada total, bem como das áreas onde são observados a ocorrência de manifestações patológicas.

A amostra utilizada consistiu em 90 casos obtidos a partir da subdivisão em prumadas e empenas das fachadas de 12 edifícios da cidade de Brasília. Os edifícios foram selecionados por apresentar características semelhantes (sistemas construtivos em concreto armado, fechamento em alvenarias de vedação em blocos cerâmicos e revestimento em elementos cerâmicos). Para este estudo não foram consideradas a influência da cor, da temperatura na face externa do sistema de revestimento, dentre outros fatores.

Os tipos de patologias analisados foram o descolamento cerâmico, as fissuras, as falhas de rejunte, as falhas de vedação e as eflorescências. Estes tipos foram selecionados em virtude de sua larga ocorrência em fachadas de edifícios localizados em Brasília. As amostras foram divididas em função da idade, orientação, andar (altura), regiões de análise, prumadas e empenas com o objetivo de analisar a influência dessas condições nos processos de degradação das fachadas.

A quantificação da degradação é feita a partir da sobreposição de malha sobre a amostra de fachada mapeada por meio das observações de ocorrências das patologias. Essa quantificação fornece subsídios para o cálculo de danos por intermédio do Fator de Danos (FD) e de três modelos de cálculo de degradação e estimativa de vida útil (Fator Geral de Danos-FGD, Fator de Danos Combinado-FDC e Método Fatorial de Danos-MFD). Estes modelos foram propostos com o objetivo de fornecer parâmetros que permitam estimar o tempo de vida em que a fachada se encontra. As pesquisas relacionadas sobre as patologias dos revestimentos cerâmicos de fachadas devem ser direcionadas ao desenvolvimento de metodologias de avaliação da degradação e estimativa da vida útil, buscando-se identificar e esclarecer os fatores de degradação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 INTRODUÇÃO

Este estudo consiste na identificação, localização, qualificação e quantificação dos danos, extensão, das degradações das fachadas. Para tanto, são utilizados recursos específicos como os mapeamentos dos danos sobrepostos por malha que permite efetuar a contagem dos danos e, por consequência, a análise da extensão da incidência e do nível de danos a partir de 90 fachadas inspecionadas em edifícios de Brasília.

Os resultados, obtidos por intermédio do estudo do levantamento e mapeamento das fachadas, são apresentados e discutidos em duas linhas:

- ✓ Análise quantitativa dos fatores de danos no processo de degradação e;
- ✓ Análise de vida útil das fachadas com revestimento cerâmico.

A análise dos fatores de danos consiste na apresentação dos resultados e tratamento da intensidade de ocorrência das manifestações patológicas (gráficos de barras), na quantificação dos Fatores de Danos (FD) e do Fator de Danos Relativo das regiões das fachadas (FDR). Já a análise de vida útil trata da quantificação do Fator de Danos Combinado (FDC), Fator Geral de Dano (FGD) e do Método Fatorial de Danos (MFD). As análises de vida útil permitem estabelecer um modelo único de previsão da vida útil das fachadas.

As patologias analisadas neste estudo foram selecionadas nos estudos preliminares de identificação de danos. São elas: o descolamento da cerâmica (DC), as falhas de rejunte (FR), as fissuras (FI), as eflorescências (EF) e as falhas de vedação (FV). Todos esses tipos diferentes de patologias são avaliados no contexto da degradação produzida pelos mesmos nas amostras de fachadas. A escolha destes tipos de patologias ocorreu em função das mesmas apresentarem ocorrência em grande parte das amostras de fachadas. Ressalta-se que uma amostra pode apresentar ocorrência de todos ou somente parte destas patologias.

O conjunto de dados, obtidos a partir de inspeções realizadas pelo Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM/UnB e posterior mapeamento dos danos, utilizados nesta pesquisa, caracterizam uma parcela do estágio de degradação das fachadas dos edifícios de Brasília. Estudos realizados a partir de inspeções nas fachadas de Brasília forneceram somente

respostas qualitativas que permitiram estabelecer possíveis hipóteses para o para o estágio de degradação (BAUER *et al.*, 2010; ANTUNES, 2010; BAUER *et al.*, 2011). Ressalta-se que o objetivo destes pesquisadores consistia na quantificação de danos. Contudo, permanecem lacunas quanto ao conhecimento dos verdadeiros mecanismos de origem e evolução do processo de degradação das fachadas com revestimento cerâmico. Os estudos de Bauer *et al* (2010), Antunes (2010) e Bauer *et al* (2011) formaram a base para este presente. Neste sentido, de maneira a sistematizar e propor formas para quantificar e classificar os danos e estudar a degradação das fachadas se estabelece um campo de análise para o FD e FDR com o objetivo de tentar elucidar as seguintes hipóteses:

- Que idade ou faixa de idade pode ser considerada crítica no Fator de Danos das fachadas com revestimento cerâmico.

Hipótese 1: A idade em geral contribui para o aumento da ocorrência e da gravidade dos fatores de danos em função do tempo.

- Evolução dos danos (fissuras-descolamento).

Hipótese 2: Existe sinergismo entre os diversos tipos de manifestações patológicas no surgimento e propagação dos danos nas fachadas.

- Fatores críticos que influenciam no desempenho das fachadas.

Hipótese 3: A orientação das fachadas podem ser em geral contribuir para o aumento da ocorrência e da gravidade dos fatores de danos em função do tempo.

- Quais fatores apresentam maior agressividade: último pavimento (topo) e orientação norte e oeste.

Hipótese 4: A localização mais crítica (altura do pavimento) apresentam relação com a ocorrência dos danos.

- Quais regiões são consideradas mais críticas das fachadas.

Hipótese 5: Regiões das fachadas consideradas mais críticas são aquelas que se encontram mais expostas às condições ambientais severas (topo) e ainda aquelas que apresentam maior extensão (paredes contínuas).

- Relação dos elementos de fachadas ligados a elementos estruturais (sacadas, aberturas) na evolução dos danos.

Hipótese 6: A interligação entre os elementos das fachadas com os elementos estruturais restringem a deformação e a dissipação das tensões que ocorrem nas fachadas promovendo o surgimento de danos nesses elementos de ligação.

- Relação das empenas (pano contínuo) à agressividade dos fatores de danos nas fachadas.

Hipótese 7: O fato das empenas apresentarem panos contínuos maiores implicam a maior incidência de danos.

Essas hipóteses contemplam um pequeno universo de questionamentos sobre a ocorrência de patologias ainda não investigadas em amostras de edifícios de Brasília, conforme relatam Bauer *et al* (2010) e Antunes (2010), dentre outros, e serviram como base para esta pesquisa, principalmente no que concerne à evolução do procedimento de cálculo e análise dos resultados.

No sentido de estabelecer uma sequência no processo de análise que permitam explicar as hipóteses estabelecidas, o estudo das fachadas proposto nesta pesquisa foi organizado em seis linhas de influências das variáveis que afetam os processos de degradação das fachadas. Neste sentido as amostras foram avaliadas em função dos seguintes critérios de influência:

- ✓ Influência do tipo de dano;
- ✓ Influência da idade das fachadas;
- ✓ Influência da orientação das fachadas;
- ✓ Influência da altura da fachada na ocorrência do dano.

- ✓ Influência da região de análise das fachadas;
- ✓ Influência das empenas das fachadas.

Para complementar o tratamento dos dados se fez a análise estatística por intermédio do *software* STATISTICA 10.0. As análises consistiram no efeito do Fator de Dano em função da Idade, Orientação, Região, Andar, Empena-Prumada das amostras de fachadas em diferentes níveis sobre a variável de resposta (Fator de Dano). Para tanto se empregou a análise de variância (ANOVA) com um nível de significação de 0,05 (probabilidade de 95%). Para a comparação das médias dos valores de FD para determinar a existência de diferença significativa entre os diferentes grupos analisados se utilizou o teste de Duncan.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DOS FATORES DE DANOS (FD)

O Fator de Danos (FD) consiste em um parâmetro inicial de estudo importante, porém com limitações, uma vez que não considera a influência a importância de cada tipo de manifestação patológica no fenômeno de degradação. Os resultados dos Fatores de Danos (FD) das amostras são apresentados em função da influência das intensidades de ocorrências dos danos, da idade das amostras de fachadas, orientação das fachadas, andares e das regiões das amostras de fachada.

5.2.1 Influência do tipo de dano

Os resultados apresentados em gráficos de histogramas permite mostrar e verificar as intensidades das ocorrências dos Fatores de Danos (FD) de todos os tipos de manifestações patológicas consideradas no estudo, inclusive do Fator de Danos associado ao total de danos:

- ✓ Fator de Dano de descolamento de cerâmica – FD-DC;
- ✓ Fator de Dano de falha de rejunte – FD-FR;
- ✓ Fator de Dano de fissuras – FD-FI;
- ✓ Fator de Dano de eflorescência – FD-EF;
- ✓ Fator de Dano de falha de vedação – FD-FV;

✓ Fator de Dano total – FD-TOTAL.

O histograma permite representar a distribuição dos FD's das amostras de fachada sendo muito útil no processamento inicial dos danos. Esta ferramenta distribui as intensidades dos FD's em classes proporcionando uma noção instantânea sobre as características do FD associado tanto a cada tipo como ao total de manifestação patológica. A mediana é uma medida de tendência central que indica a posição e o valor central da amostra, ou seja, permite calcular um valor de FD que seja representativo ou caracterize toda a amostra.

Na análise dos resultados não são computados valores nulos (zero) de ocorrência de manifestações patológicas tendo em vista que o critério proposto para as análises dos resultados neste estudo se baseia em analisar os casos em que as fachadas apresentaram algum dano nos levantamentos efetuados. Estabelece-se, portanto, como critério de aceitabilidade fatores de danos com valores iguais ou superiores a 0,1% (valores mínimos, Tabela 5.1). Neste sentido observa-se que a quantidade de amostras varia para cada tipo de patologia. Somente o Fator de Danos total apresenta resultados com todas as amostras (90 casos). A Tabela 5.1 mostra as quantidades de amostras associadas aos fatores de danos para cada tipo de patologia.

Tabela 5.1 – Tabela com os dados estatísticos dos Fatores de Danos das amostras de fachadas.

Tipo de FD	FD-DC	FD-FR	FD-FI	FD-EF	FD-FV	FD TOTAL
Qtde da Amostra	75,0	50,0	71,0	12,0	17,0	90,0
Média	21,3%	4,4%	5,5%	0,7%	2,3%	25,0%
Mediana	14,1%	2,7%	3,2%	0,3%	2,1%	13,8%
Valor Mínimo (VMI)	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	1,0%
Idade Mínima (IMI)	9	9	10	5	32	9
Orient. Mínima (OMI)	L	L	N	L	S	S
Valor Máximo (VMA)	82,9%	19,2%	41,0%	1,7%	5,6%	92,2%
Idade Máxima (IMA)	32	36	8	9	36	36
Orient. Máxima (OMA)	O	N	N	L	S	N
Variância	4,3%	0,2%	0,5%	0,0%	0,0%	5,5%
Desvio Padrão	20,7%	4,8%	6,9%	0,6%	1,6%	23,4%
Coef. Variação	97,1	109,1	126,6	90,1	72,2	93,5
Erro Padrão	2,4%	0,7%	0,8%	0,2%	0,4%	2,5%

Os resultados dos fatores de danos são distribuídos em oito classes. A Figura 5.1 mostra o histograma de frequência do Fator de Danos da amostra total. Este gráfico apresenta valores de FD que variam de 1,0% a 92,2%.

Observa-se maior ocorrência de fatores de danos total em três faixas ou classes: de 1,0% a 12,4% (42 registros para os menores valores de Fator de Danos), de 12,4% a 23,8% com 14 ocorrências e nas classes de 23,8% a 35,2% e de 46,6% a 58,0%, ambas com 9 ocorrências. Esses valores do Fator de Danos representam 46,7%, 15,6% e 10,0%, respectivamente, do total de 90 amostras, considerando todos os tipos de manifestações patológicas.

As classes são determinantes na visualização da tendência dos resultados do FD TOTAL da amostra, conforme mostra a curva de porcentagem de frequência acumulada dessa amostra (Figura 5.1). Esta curva acumulada também mostra que a segunda classe (FD com valores de 12,4% a 23,8%) contém o valor da mediana de 13,8% (Tabela 5.1), indicando que 50% dos valores da amostra estão abaixo ou acima deste valor de FD TOTAL, ou seja, dentro do intervalo de 46,7% a 62,2% da curva de porcentagem acumulada de FD TOTAL (Figura 5.1).

A Figura 5.1 destaca a elevada variação dos valores obtidos para o FD-TOTAL e mostra que a maior parte das amostras apresentam valores bastante reduzidos de fatores de danos. Contudo, essa disparidade entre esses valores é esperada tendo em vista que o processo de degradação é evolutivo. Sendo assim, a maior parcela dos fatores de danos reduzidos é determinante para caracterizar a origem dos danos nas idades iniciais e, neste mesmo contexto, os maiores valores dos fatores de danos destacam a evolução do processo de degradação em idades avançadas (acima de 30 anos).

O aumento dos valores dos fatores de danos considerando um total de 90 amostras é mais acentuado nas faixas de 1,0% a 35,2%, conforme mostra a curva de porcentagem acumulada. Representam, dessa forma, o primeiro estágio de evolução dos danos nas fachadas desprezando qualquer outro tipo de influência, seja da idade ou da orientação das fachadas analisadas.

Vale ressaltar que o FD-TOTAL sofre influência da proporção de patologias de descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação. Essas

patologias apresentam comportamentos diferenciados e, neste sentido, provocam uma variação nos resultados do FD-TOTAL.

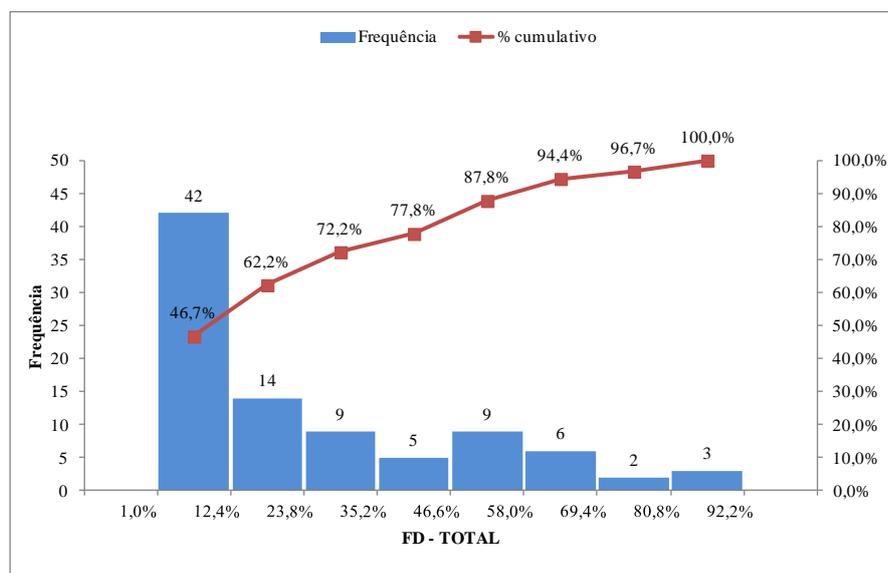


Figura 5.1 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos Total das amostras de fachadas.

A Figura 5.2 mostra o histograma de frequência do Fator de Danos de descolamento cerâmico da amostra. Este gráfico apresenta valores de FD que variam de 0,1% a 82,9%. As classes que apresentam as maiores ocorrências de fatores de danos são: 0,1% a 10,4% (31 registros equivalentes a 41,3% da amostra de Fator de Danos de descolamento cerâmico), de 10,4% a 20,8% (16 observações representando 21,3% da amostra) e de 20,8% a 31,1% que representam 8 observações correspondendo a 10,7% da amostra.

Esses dados foram observados em um total de 75 casos de Fator de Danos de descolamento cerâmico. Ressalta-se que esta quantidade é inferior à amostra total (90 casos) em função da exclusão dos valores nulos no cômputo da quantidade da amostra, ou seja, 15 amostras não apresentaram este tipo de manifestação patológica. O gráfico de porcentagem de frequência acumulada (Figura 5.1) identifica que a mediana de 14,1% (Tabela 5.1) pertence à classe de 10,4% a 20,8% (dentro do trecho da curva de porcentagem acumulada de 41,3% a 62,7%), ou seja, 50% da amostra estão abaixo ou acima de 14,1%.

Os resultados obtidos a partir da Figura 5.2 mostram uma elevada variação dos valores obtidos para o FD-DC. O menor valor (0,1%) indica que esta patologia apresenta um dano mínimo e o maior valor (82,9%) mostra o elevado nível de dano. Esses resultados mostram

a evolução acelerada do FD-DC indicando que esta patologia apresenta um peso considerável, sendo, portanto, determinante no processo de degradação das fachadas.

A curva de porcentagem acumulada mostra que o aumento dos valores dos fatores de danos é mais evidente nas faixas de 0,1% a 41,5%. Esses valores são significativos no comportamento dos danos provocados pelo descolamento cerâmico. O descolamento cerâmico aparece com mais evidência devido aos fenômenos físicos, químicos e mecânicos que sujeitam as fachadas à esforços superiores á sua capacidade resistente. Em geral, o descolamento cerâmico está associado à outras patologias como fissuras ou falhas nas juntas. As expansões e retrações por absorção e decagem de água, as variações térmicas, assim como as infiltrações de água pelas fissuras e por deficiência de estanqueidade das juntas contribui para o aumento da ocorrência do descolamento. A combinação desses mecanismos de degradação no surgimento e evolução do descolamento cerâmico o evidencia como principal dano atuante na degradação do sistema de revestimento.

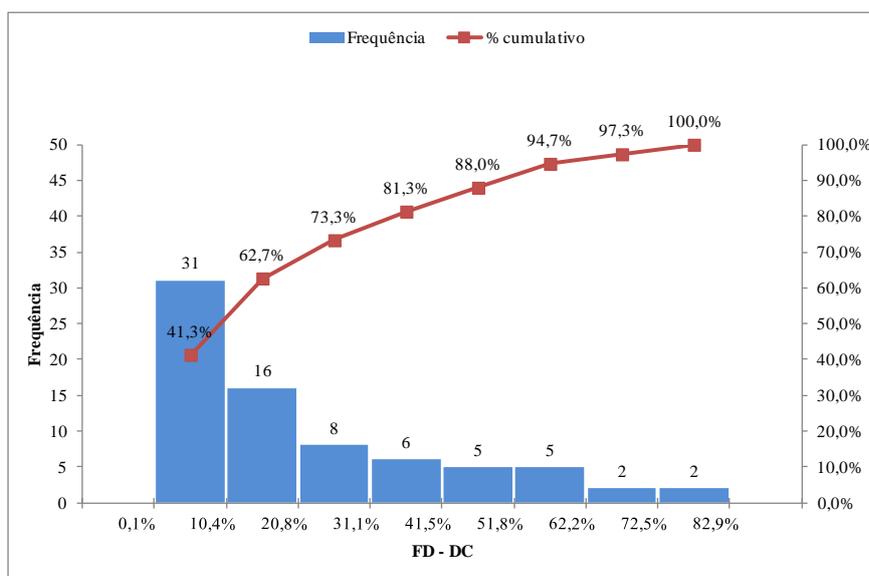


Figura 5.2 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de descolamento cerâmico em amostras de fachadas.

A Figura 5.3 mostra o histograma dos resultados do Fator de Danos de falha de rejunte da amostra. Este gráfico apresenta valores de FD que variam de 0,1% a 19,2%, faixa menor que a registrada nas figuras 5.1 e 5.2.

Observa-se maior ocorrência de fatores de danos nas seguintes classes: de 0,1% a 2,5% (24 ocorrências), de 2,5% a 4,9% com 9 observações, de 4,9% a 7,3% (6 observações) e de

7,3% a 9,6%, também com 6 observações. Esses valores do Fator de Danos representam 48%, 18%, 12% e 12%, respectivamente, do total de 50 amostras de falha de rejunte. O gráfico de porcentagem de frequência acumulada dessa amostra (Figura 5.3) comprova que essas quatro classes são visivelmente predominantes no comportamento da tendência dos resultados do FD para esta amostra. O valor da mediana de 2,7% (Tabela 5.1) pertence à segunda classe (FD de falha de rejunte com valores de 2,5% a 4,9%), conforme pode ser observado pelo histograma acumulado da Figura 5.3.

Esses resultados mostram que o FD-FR apresenta uma variação baixa em que se nota pouca expressividade no processo de degradação das fachadas. Vale destacar que falhas de rejunte permitem o ingresso de água para o interior do sistema de revestimento e, com o tempo, ser responsável pelo desenvolvimento de falhas de descolamento cerâmico.

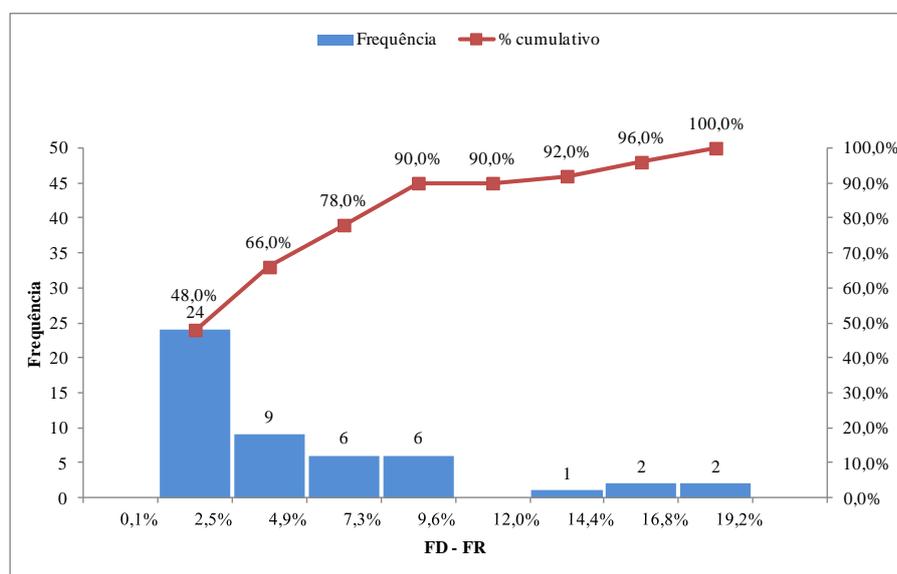


Figura 5.3 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de falha de rejunte em amostras de fachadas.

A Figura 5.4 mostra o histograma dos resultados do Fator de Danos de fissuras que ocorrem em 71 amostras com registro de danos de fissuras. Este gráfico mostra valores de FD que apresentam elevada variação (0,1% a 41,0%).

As maiores ocorrências de fatores de danos de fissuras são observadas nas classes: 0,1% a 5,2% (48 observações equivalentes a 68% da amostra de Fator de Danos de fissuras), de 5,2% a 10,3% (14 observações representando 20% da amostra) e de 10,3% a 15,4% (4 observações correspondendo a 6% da amostra). A curva de porcentagem de frequência acumulada (Figura 5.4) identifica que a mediana de 3,2% (Tabela 5.1) pertence à primeira

classe (0,1% a 5,2%), ou seja, esta classe contém 50% dos menores valores da amostra de FD de fissura, as demais classes agrupam a outra parcela de 50% para esta amostragem.

Neste sentido, esses resultados mostram uma variação moderada dos valores obtidos para o FD-FI. Os menores valores para o FD-FI são bastante expressivos indicando que esta patologia apresenta uma proporção elevada de danos mínimos e praticamente não apresenta representatividade nos maiores valores dos fatores de danos.

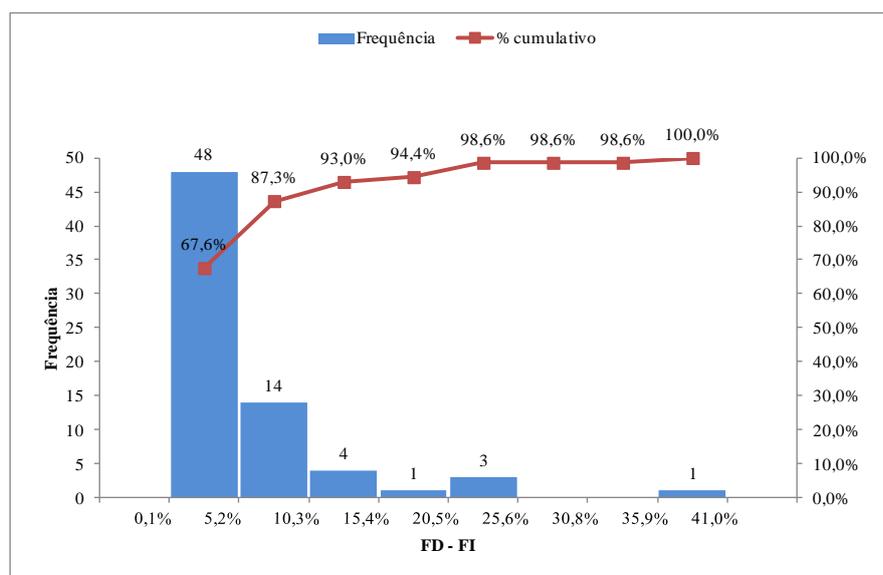


Figura 5.4 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de fissuras em amostras de fachadas.

A Figura 5.5 mostra o histograma dos resultados do Fator de Danos de eflorescências que ocorrem na amostra. Este gráfico apresenta valores de FD que variam de 0,1% até 1,7% (reduzida variação do FD). Observa-se maior ocorrência de fatores de danos de eflorescência na classe de 0,1% a 0,3% (menores valores de Fator de Danos). Nesta classe foram classificadas 6 amostras que correspondem a 50% do total de 12 amostra de danos de eflorescência.

Observa-se maior ocorrência de fatores de danos de eflorescência em apenas duas classes: de 0,1% a 0,3% (6 ocorrências de 50% da amostra) e de 1,3% a 1,5% com 3 observações que correspondem a 25% da amostra. Esses valores do Fator de Danos representam 50% e 25%, respectivamente, do total de 12 amostras de danos de eflorescência. A curva de frequência acumulada em porcentagem dessa amostra (Figura 5.5) apresenta o comportamento da tendência dos resultados do FD de eflorescência. O valor da mediana de 0,3% (Tabela 5.1) pertence à primeira classe (FD de eflorescência no intervalo de 0,1% a

0,3%). O valor da mediana evidencia que este tipo de manifestação patológica apresenta valores de FD bastante reduzido se comparado principalmente ao Fator de Dano de descolamento cerâmico.

Esses resultados mostram que o FD-EF também não apresenta evolução dos danos com o tempo, sendo mais evidente, devido aos reduzidos valores desse Fator de Danos, somente nas fachadas jovens, com idades inferiores a 10 anos.

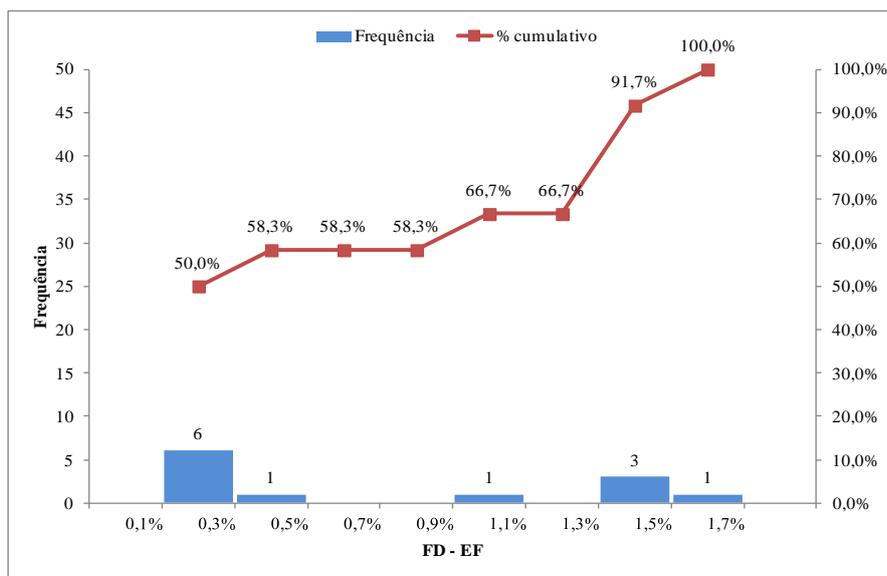


Figura 5.5 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de eflorescências em amostras de fachadas.

A Figura 5.6 mostra o histograma dos resultados do Fator de Danos de falha de vedação que ocorrem em 17 amostras. Este gráfico apresenta valores de FD que variam de 0,3% a 5,6% (variação relativamente pequena se comparada aos demais tipos de danos). Observa-se maior ocorrência de fatores de danos total na faixa de 0,1% a 1,0% (menores valores de Fator de Danos). Nesta classe foram classificadas 6 amostras que correspondem a 35% do total de amostra de danos de eflorescência.

Observa-se maior ocorrência de fatores de danos de falha de vedação em duas classes: de 0,3% a 1,0% (6 ocorrências, equivalente a 35% da amostra) e de 3,0% a 3,6% (3 observações que representam 18% da amostra total de falha de vedação). O gráfico de porcentagem de frequência acumulada dessa amostra (Figura 5.6) apresenta a tendência dos resultados do FD para esta amostra. O valor da mediana de 2,1% (Tabela 5.1) pertence à terceira classe (FD de falha de rejunte com valores de 1,0% a 1,6%), conforme mostra o a curva de porcentagem acumulada (equivalente ao trecho de 47,1% a 52,9%) da Figura 5.6.

Esses resultados também indicam pouca influência do FD-EF no processo de degradação das fachadas uma vez que o mesmo também não apresenta evolução significativa dos danos com o tempo. Esse Fator de Danos apresenta resultados bastante regulares, sendo representativo somente nas fachadas com idades inferiores a 10 anos.

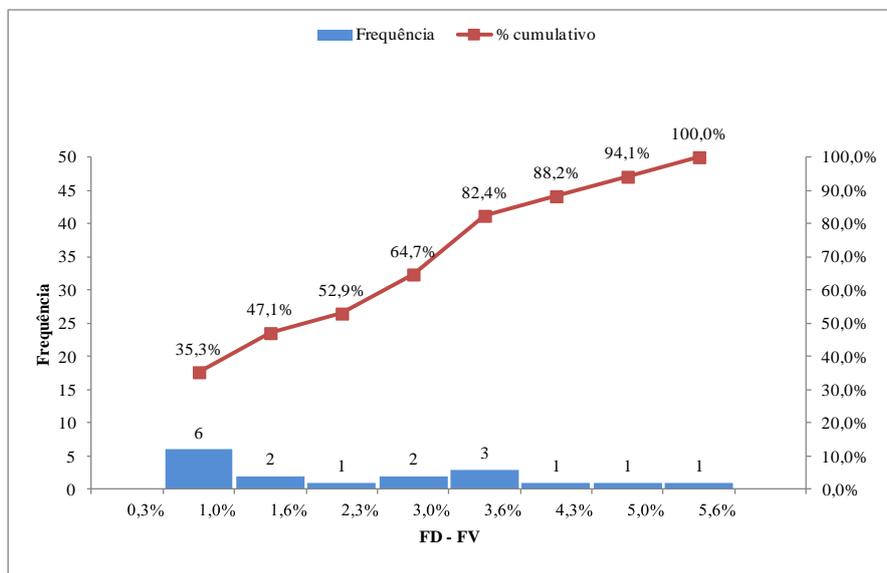


Figura 5.6 – Histograma de frequência e porcentagem acumulada do Fator de Danos de falha de vedação em amostras de fachadas.

Os resultados mostram que os fatores de danos (FD-Total, FD-DC, FD-FR e FD-FI) apresentam uma tendência que pode ser representada pela Figura 5.7: quanto maior o valor do Fator de Dano, menor é o número de ocorrências.

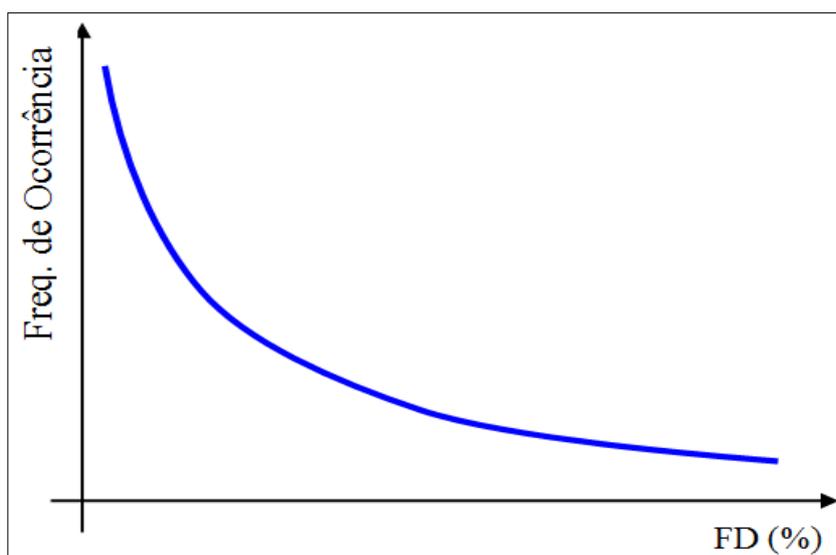


Figura 5.7 – Curva representativa do comportamento dos resultados dos Fatores de Danos.

A Tabela 5.1 apresenta uma caracterização dos resultados dos fatores de danos com a identificação dos tipos de fatores de danos associados às medidas de tendência básica que permitem estabelecer o comportamento do Fator de Dano de cada tipo de manifestação patológica (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) e ainda da associação dessas manifestações através do Fator de Danos total.

As quantidades das amostras variam em virtude do critério de aceitação dos resultados dos fatores de danos. Somente são computados valores iguais ou superiores a 0,1% (Tabela 5.1). Os maiores valores do Fator de Dano são observados para as manifestações patológicas de descolamento cerâmico (FD-DC = 82,9%), fissuras (FD-FI = 41,0%) e falha de rejunte (FD-FR = 19,2%), sendo os dois primeiros fatores (FD-DC e FD-FI) determinantes nos resultados totais dos fatores de danos (FD-TOTAL = 92,2%). Os valores mínimos do Fator de Danos de todos os tipos de patologias analisadas variaram de 0,1% a 0,3%

O FD-DC e o FD-TOTAL apresentaram o maior valor de desvio padrão (20,7% e 23,4%, respectivamente). Os maiores valores do coeficiente de variação foram observados nos resultados dos fatores de danos das patologias de fissuras e falha de rejunte (FD-FI e FD-FR).

5.2.2 Influência da idade das fachadas

A influência da idade das fachadas permite estabelecer uma relação entre a Hipótese 1, que se refere à idade considerada crítica no processo de degradação das fachadas. Os resultados mostram os fatores de danos (FD) que ocorrem em função da idade das mostras de fachadas. Esses resultados permitem observar de maneira global, considerando todos os tipos de manifestações patológicas, a influência que a idade promove no processo de degradação das amostras de fachadas. As amostras analisadas compreendem fachadas com idades entre 5 e 36 anos (Apêndice A – Tabela A.1)

A Figura 5.8 mostra que o Fator de Danos Total em função da idade cresce em função da idade. As amostras com 36 anos de idade apresentaram os maiores valores do Fator de Danos (Fator de Dano acima de 40%). Neste sentido, esse resultado comprova a Hipótese 1 uma vez que apresenta a influência da idade no processo evolutivo da degradação, ou seja,

fachadas novas (idades inferiores a 10 anos) começam a apresentar danos iniciais que, se não tratados, podem evoluir para processos progressivos de degradação em idades avançadas consideradas críticas (superiores a 30 anos).

A curva de degradação obtida a partir dos fatores de danos das patologias apresenta significativo aumento da degradação em função da idade, influenciado principalmente pelos resultados dos fatores de danos nas fachadas com idades entre 30 a 40 anos. A curva se apresenta com a forma convexa. Mostra que as patologias podem ter origem em fenômenos físicos e químicos (JOHN; SATO, 2006; CONSOLI, 2006; GASPAR, 2009), cuja ação se inicia de forma lenta, porém como esses fenômenos são cumulativos e progressivos, gera um aumento na velocidade de degradação atingindo um limite crítico nas maiores idades.

O maior volume de amostras se concentram principalmente em idades inferiores a 10 anos e superiores a 30 anos. As amostras apresentam, a partir da curva de tendência, uma variação maior para valores de FD abaixo dessa curva e uma variação menor acima da mesma, devido principalmente à elevada variabilidade nas amostras em idades inferiores a 10 anos.

A dispersão dos dados amostrais observados na Figura 5.8 evidencia a complexidade da análise do comportamento do processo de degradação das fachadas com revestimento em cerâmica. Essa dispersão não apresenta simetria, ou seja, abaixo da curva de tendência os dados amostrais se encontram mais dispersos, principalmente nas amostras com 8 anos, 32 anos e 36 anos, conforme mostram as curvas abaixo e acima da curva de tendência.

A elevada dispersão dos resultados para as amostras com 8 anos podem estar associadas ainda às especificações inadequadas e falhas construtivas, tendo em vista que fachadas relativamente novas, em geral, não apresentam processos de degradação nesta proporção (40% e 50%).

O Fator de Dano Total (FD – TOTAL) está diretamente associado aos fatores de danos das patologias de descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, falha de vedação e eflorescência, sendo que, cada patologia específica também depende de mecanismos de degradação (exposição aos agentes climáticos, movimentações higroscópicas, movimentação estrutural, dentre outros).

Contudo, a curva de degradação representa o processo de degradação esperado para estas fachadas. Nas primeiras idades (até 10 anos) ocorre um processo de degradação lento com valores de FD em torno de 20%, conforme mostra a curva tracejada abaixo da curva ajustada.

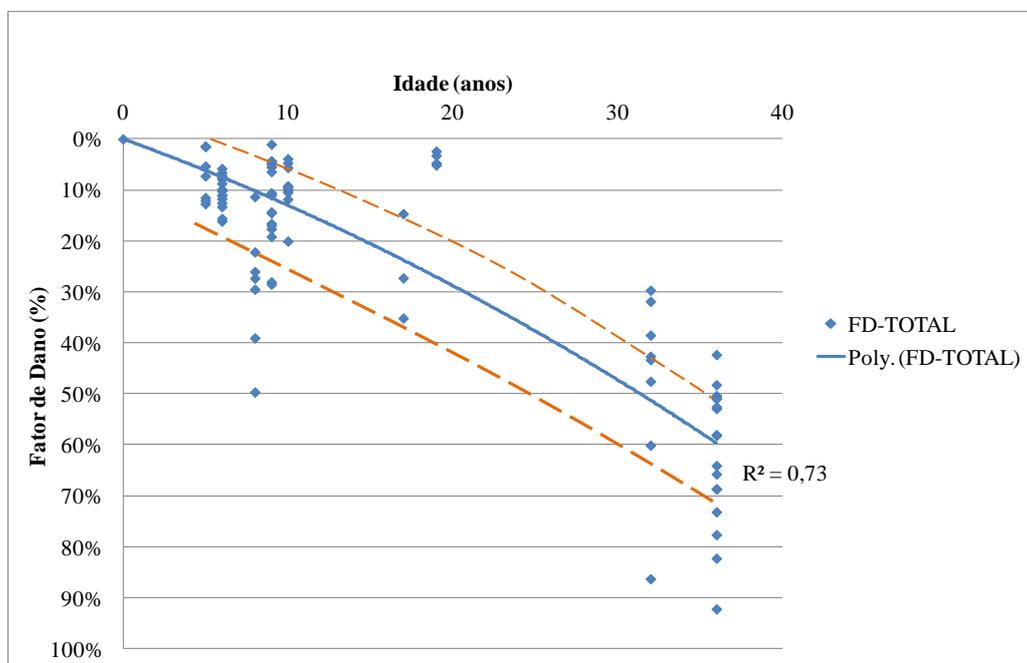


Figura 5.8 – Fator de Dano Total considerando todas as manifestações patológicas (descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) em função da idade para 90 amostras de estudo.

A Figura 5.9 permite observar uma elevada ocorrência de descolamento de cerâmica em função da idade quando comparado com a fissuração. Nota-se que o Fator de Dano de descolamento de cerâmicas assume efeito preponderante em relação ao Fator de Danos de fissuras em praticamente todas as idades das fachadas, sendo mais evidente em idades mais avançadas onde se observa uma tendência de ocorrência de danos próximos de 50%, conforme mostra a curva de tendência de FD-DC da Figura 5.9.

Para verificar a Hipótese 2 que se refere à evolução dos danos se faz uma análise comparativa entre os fatores de danos de descolamento cerâmico (FD-DC) e de fissuras (FD-FI).

A Figura 5.9 mostra o comportamento do FD-FI e FD-DC e as possíveis relações entre essas patologias. Os resultados do FD-FI se apresentam muito dispersos em todas as idades. Contudo, pode-se observar que, nas primeiras idades (inferiores a 10 anos) o FD-FI

se mantém abaixo, porém próximo do FD-DC. Em idades superiores a 10 anos o valor de FD-FI decresce, ficando bastante reduzido em idades superiores a 30 anos.

Diferentemente, o FD-DC aumenta progressivamente desde as primeiras idades até as idades mais avançadas. Esse resultado mostra que, possivelmente, uma parcela da fissuração detectada nas primeiras idades possa ter sido a causa dos danos de descolamento nas maiores idades. A distribuição das deformações provocadas pelas fissuras iniciais e a conjugação de outros mecanismos como as movimentações de acomodação da estrutura do edifício e a penetração de água através dessas fissuras podem causar falhas (aderência e redução da resistência) e explicar o elevado índice de FD-DC. Nas maiores idades, a elevada incidência de descolamento de cerâmica se sobrepõe à incidência de fissuras, isto é, apesar da ocorrência tanto da fissura como do descolamento de cerâmica, apenas esta última patologia (descolamento de cerâmica) é computada.

Os resultados comparativos entre o FD-FI e FD-DC ressaltam a veracidade da Hipótese 2 e a importância da detecção e reparação das fissuras na sua origem (idades iniciais) como forma de evitar sua dissipação e progressão contínua com o tempo e ainda um possível sinergismo com os demais tipos de patologias, mais especificadamente, o descolamento cerâmico.

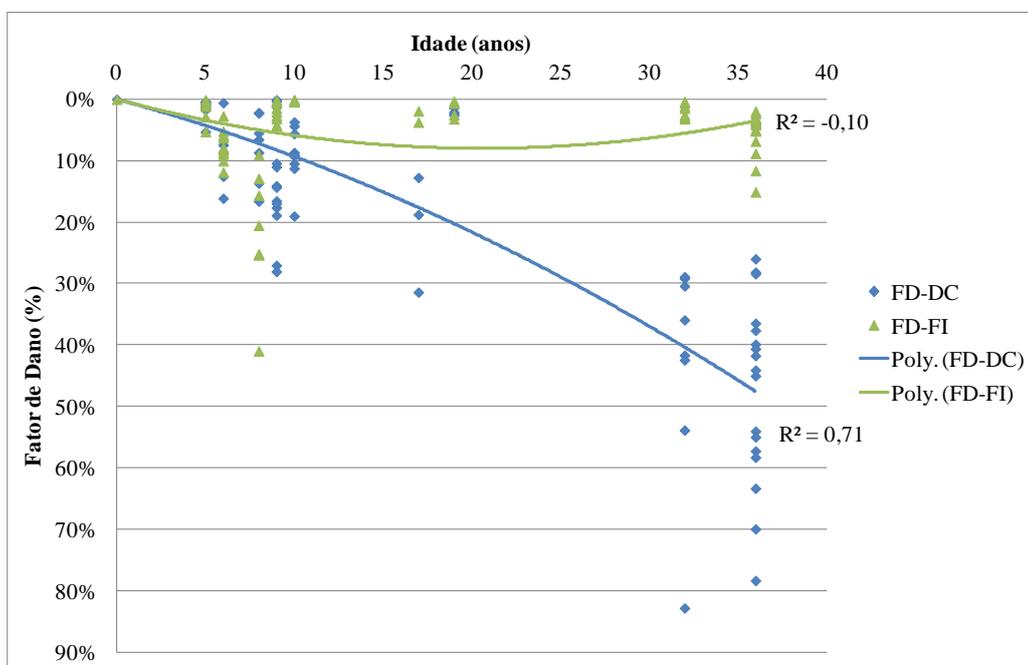


Figura 5.9 – Fator de Dano das manifestações patológicas de descolamento cerâmico e fissuras em função da idade das amostras de estudo.

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA). Valor de p maior que 0,05, como regra de decisão, 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.

Observa-se, na Tabela 5.2, que o valor de p obtido através da ANOVA para as amostras de fachadas em função de grupos (faixas) de idade (Apêndice E – Tabela E-1) foi igual a 0,00. Esse valor de p (menor que 0,05) indica que a idade tem efeito no Fator de Dano (FD) e que existe diferença significativa entre os grupos de idades (pelo menos com um deles).

Tabela 5.2 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função de faixas de idade.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	p
Interseção	53302,21	1	53302,21	406,92	0,00
Idade	37574,76	3	12524,92	95,62	0,00
Erro	11265,18	86	130,99		

Na Tabela 5.3 podem ser observados os resultados do Teste de Duncan para as amostras de fachadas em função de quatro faixas de idade. O Teste de Duncan (Tabela 5.3) apresenta o valor médio do FD em ordem crescente. Pode-se observar que existe diferença significativa entre as amostras de fachadas com idades inferiores a 25, com os maiores de 25 anos. Observa-se também diferença significativa nas amostras com idades entre 25-35, com os maiores de 35 anos.

Tabela 5.3 – Resultados do Teste de Duncan para as amostras de fachadas em função de quatro faixas de idade.

Teste Duncan; MS = 130,99, df = 86,00					
	Idade (anos)	FD – Média	1	2	3
1	0-15	12,50	****		
2	15-25	13,23	****		
3	25-35	47,50		****	
4	>35	62,17			****

Na Figura 5.10 se apresenta o valor médio do FD para os grupos (faixas) de idade analisadas (0-15, 15-25, 25-35, 35-45) com seu respectivo intervalo de confiança 0,95. A maior dispersão é observada na faixa de idade de 15-25. A interpretação dos intervalos de confiança é direta. Níveis do fator com intervalos de confiança que não se sobrepõem são chamados significativamente diferentes (HINES *et al.*, 2006). Pode-se observar que existe diferença significativa entre as amostras de fachadas com idades inferiores a 25 anos em relação às maiores de 25 anos. Observa-se também diferença significativa entre as amostras entre 25-35 com aquelas maiores de 35 anos.

Como existe diferença significativa entre as amostras com idade entre 25-35 e as amostras com idades maiores de 35 anos e, ainda, como estas faixas apresentam os maiores valores da média do FD, os resultados das análises estatísticas confirmaram a Hipótese 1.

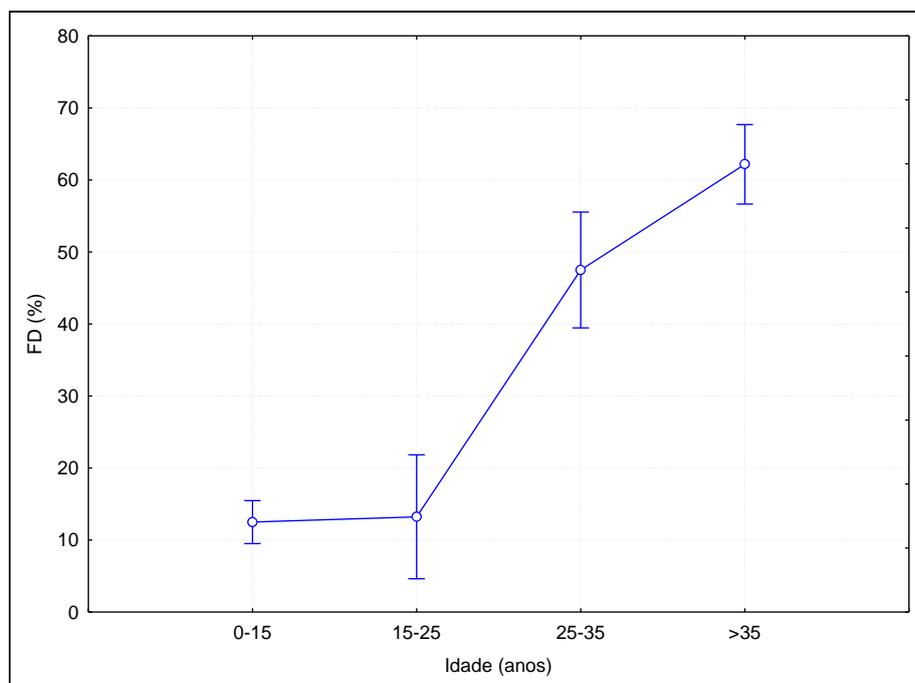


Figura 5.10 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função de faixas de idade das amostras de fachadas.

5.2.3 Influência da orientação cardinal das fachadas

As análises dos resultados dos fatores de danos em função da orientação são efetuadas em quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste) para o Fator de Danos Total da amostra, bem como para os cinco tipos de patologias, conforme mostram a Tabela 5.4 e as figuras 5.11 a 5.13. Nas figuras 5.11 e 5.12, os resultados são apresentados a partir do Fator de Dano médio e, na Figura 5.13, os resultados são apresentados para o Fator de Danos total de toda a amostragem (90 casos). Busca-se, tanto com os valores médios, bem como a partir dos valores totais das amostras de fachadas, verificar a Hipótese 3 acerca do efeito das condições críticas de exposição no surgimento das patologias em fachadas com revestimento cerâmico.

Os resultados apresentados na Tabela 5.4 mostram que, em termos de valores médios, as orientações Norte (FD-Total-N = 32,4%) e Oeste (FD-Total-O = 23,4%) apresentam valores elevados de FD-TOTAL. Analisando o Fator de Dano associado ao tipo de patologia se observa que o descolamento cerâmico apresenta valores elevados de fatores de danos nas quatro orientações quando comparado com os demais tipos de patologias (falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação), sendo que, nas orientações Norte (24,3%) e Oeste (24,0%) esses valores são mais expressivos tendo em vista a disparidade em relação aos menores valores observados de FD-EF (0,1%) e FD-FV (0,6%).

Tabela 5.4 – Valores dos fatores de danos médios para as quatro orientações das amostras.

ORIENTAÇÃO	FD-DC	FD-FR	FD-FI	FD-EF	FD-FV	FD-TOTAL
Norte (N)	24,3%	6,5%	5,9%	0,1%	2,9%	32,4%
Leste (L)	15,2%	2,5%	5,3%	0,8%	1,5%	16,3%
Sul (S)	19,6%	5,2%	4,2%	0,2%	2,4%	24,1%
Oeste (O)	24,0%	2,8%	6,5%	0,9%	0,6%	23,4%

As figuras 5.11 e 5.12 mostram que a influência da orientação das fachadas é contundente no processo de degradação. Esses resultados corroboram com a Hipótese 3, que pondera sobre a possibilidade da orientação da fachada ser um fator crítico de degradação das fachadas.

Em termos de média geral, considerando todos os tipos de danos em relação à amostra total, o maior valor de FD-TOTAL foi de 32,4% na orientação Norte. Esse valor de FD-

TOTAL é bastante representativo uma vez que o mesmo compreende a extensão média dos danos de todas as fachadas consideradas na amostragem.

A Hipótese 3 fica comprovada tendo em vista que os resultados dos fatores de danos da Figura 5.11 destacam principalmente que a orientação Norte das fachadas é a mais susceptíveis à intensidade de ocorrência de danos e evidencia a crítica influência da orientação e, conseqüentemente, da exposição à elevada radiação solar no surgimento das manifestações patológicas das amostras.

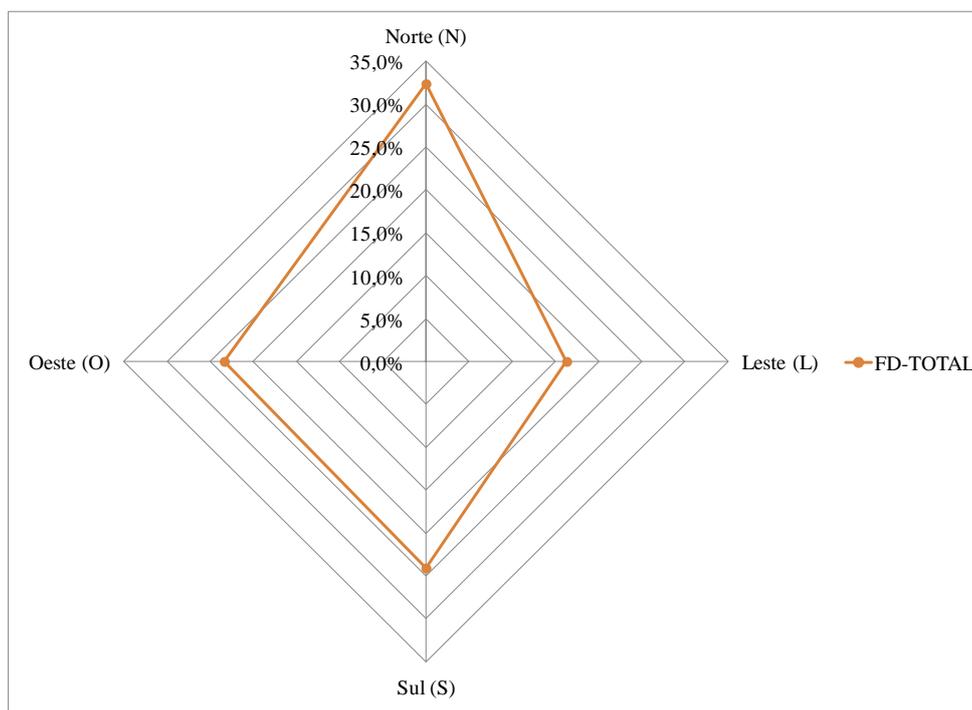


Figura 5.11 – Fator de Dano Total em função da orientação das amostras de estudo.

Os resultados do FD médio para os diferentes tipos de patologias (descolamento de cerâmicas, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação) evidencia a importância da magnitude do FD-DC (Figura 5.12).

O elevado valor de FD de descolamento de cerâmicas mostra como as tensões térmicas (causadas em função da temperatura atingida, dependente da radiação solar) podem ser críticas, visto que podem provocar movimentações diferenciais entre as camadas do sistema de revestimento, gerar deficiências de aderência entre os elementos cerâmicos e as camadas subjacentes e, finalmente, provocar descolamentos cerâmicos nas fachadas. Outra maneira de consolidar o efeito das tensões térmicas se refere à análise das causas do reduzido valor do Fator de Dano de eflorescência ($FD-EF = 0,1\%$), tendo em vista que este

dano, diferentemente do descolamento cerâmico, têm como um dos principais agentes responsáveis por seu surgimento a incidência de chuva dirigida e não a radiação solar.

A Figura 5.12 juntamente com a Tabela 5.4 complementam os resultados dos fatores de danos das demais patologias e mostram que o maior e menor valor de FD de fissuração foi observado nas orientações Oeste (FD-FI = 6,5%) e Sul (FD-FI = 4,2%), respectivamente. O FD de falha de rejunte apresentou valor mais elevado na orientação Norte (FD-FR = 6,5%) e o menor na orientação Leste (FD-FR = 2,5%). O FD de falha de vedação foi mais elevado na orientação Norte (FD-FV = 2,9%) e menos elevado na orientação Oeste (FD-FV = 0,6%). Esses resultados mostram a reduzida influência dessas manifestações patológicas na degradação das fachadas quando comparadas com o elevado valor de FD-DC.

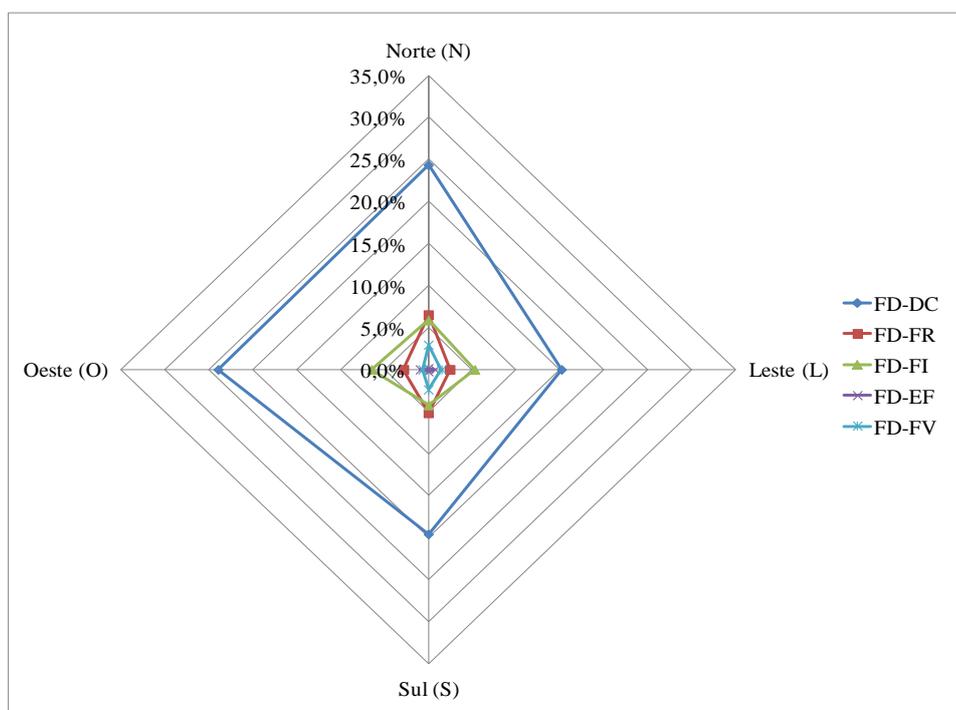


Figura 5.12 – Fator de Dano em função da orientação das amostras de estudo.

A Figura 5.13 complementa as análises sobre o enfoque da influência da orientação e mostra as curvas de degradação geradas a partir dos resultados do Fator de Danos (FD) que ocorrem nas quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste) das fachadas. Os resultados apresentam as amostras de fachadas em quatro novos arranjos de distribuição (FD - N, FD - L, FD - S e FD - O) e, conseqüentemente, quatro novas curvas de tendências dos fatores de danos. As orientações Norte (FD-Total-N = 92,2%) e Oeste (FD-Total-O = 86,3%)

apresentaram valores elevados de FD nas amostras de fachadas com idades acima de 30 anos.

O comportamento do Fator de Dano associado à orientação da fachada indica dois grupos distintos caracterizados pelas curvas de tendência. O primeiro grupo destaca as orientações Oeste e Norte (exposição severa), caracterizadas pelas curvas FD-O e FD-N, respectivamente, como aquelas que apresentam as maiores intensidades de fatores de danos totais e, o segundo grupo, composto pelas curvas FD-L e FD-S, representando as orientações Leste e Sul (exposição leve), respectivamente, apresentam valores menores de fatores de dano totais, com resultados muito próximos.

As curvas de tendência ainda permitem identificar diferentes velocidades do processo de degradação para cada orientação e destaca uma inflexão maior na curva FD-O (Figura 5.13). Esse comportamento da curva FD-O mostra que, nesta orientação, o processo de degradação é mais acelerado que nas orientações Norte (FD-N), Leste (FD-L) e Sul (FD-S).

Os resultados mostram também que os maiores fatores de danos estão concentrados na orientação Oeste, cujos resultados da curva de tendência (FD – O) ficam, no ponto mais extremo, abaixo de 80%, valor elevado de Fator de Dano, mesmo para fachadas em idades avançadas. Este resultado se apresenta coerente com estudos de Sousa (2008), que observou em seus levantamentos casos mais crítico em fachadas na orientação Oeste.

Neste sentido, partindo de uma interpretação técnica, os resultados da Figura 5.13 comprovam de maneira mais efetiva a Hipótese 3 em termos de nível severo de exposição e velocidade do processo de degradação, ou seja, o fenômeno de degradação depende do nível de exposição das fachadas (a diversos fatores, dentre os quais se destaca a radiação solar) durante sua vida.

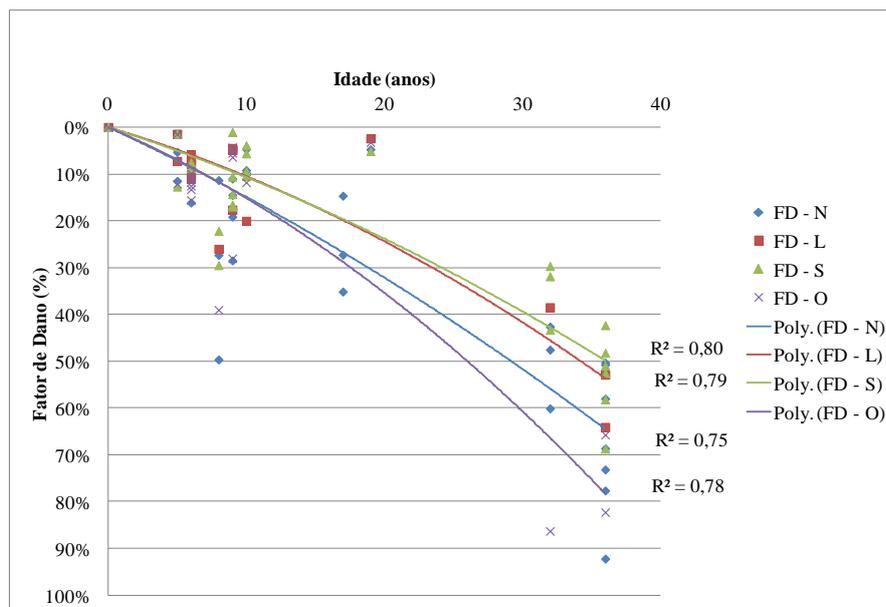


Figura 5.13 – Fator de Dano em função da orientação das amostras de estudo.

Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados para as amostras de fachadas com idades na faixa de 0-15 anos em função da orientação (Apêndice E – Tabela E-2). Observa-se que o valor de p obtido através da ANOVA foi igual a 0,14 (maior que p-valor de 0,05). Esse valor indica que a orientação não tem efeito no Fator de Dano (FD) para as amostras de fachadas, ou seja, não existe diferença significativa entre as quatro orientações.

Tabela 5.5 – Resultados da ANOVA para as amostras em função da orientação das fachadas de edifícios de Brasília.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	P
Interseção	49754,40	1	49754,40	93,35	0
Orientação	3003,44	3	1001,15	1,88	0,14
Erro	45836,5	86	532,98		

Na Figura 5.14 pode ser observado que não existem diferenças significativas entre as orientações das fachadas. Observou-se ainda a existência de grandes dispersões nas quatro orientações para amostra analisada.

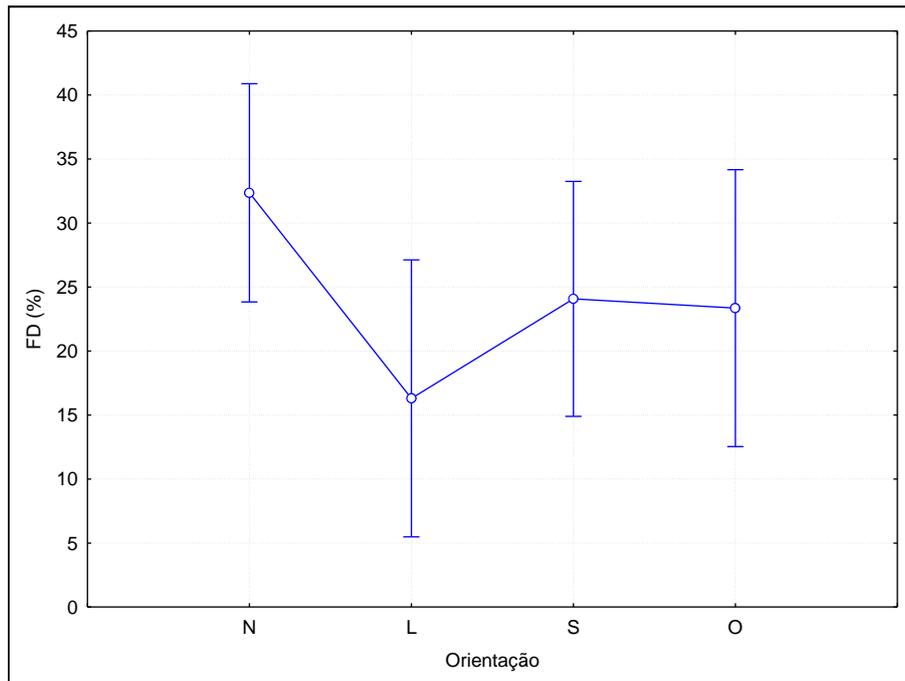


Figura 5.14 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função da orientação das amostras de fachadas.

A partir da análise estatística que mostra não haver diferença significativa entre as orientações, a Hipótese 3 não pode ser confirmada em termos do rigor estatístico. Possivelmente esse resultado estatístico se deve à elevada dispersão observada em todas as quatro orientações. A amostra é homogênea com grande variabilidade. Essa dispersão pode ser devido às características da amostragem, que consiste em edifícios diferentes, cujos levantamentos foram executados em períodos diferentes, embora com a mesma metodologia.

Contudo, do ponto de vista técnico, a tendência é bastante evidente, observa-se que a orientação Oeste e Norte se apresentam como as orientações mais propensas ao surgimento de patologias (Figura 5.13).

Deve-se tomar cuidado no emprego da análise estatística nestas amostras com grande variabilidade. Isso faz com que comportamentos nitidamente observados e tendências claras não se observem como significativas na análise de variância. Observa-se isto na Fig. 5.14, em que, pela elevada dispersão (intervalo mensurado), a ANOVA não indica diferenças significativas. Na análise das tendências (análise com abordagem técnica) é extremamente nítido que ocorre influência dessas variáveis (fatores). Portanto a análise

conjunta (estatística e de tendências médias) deve ser muito criteriosa principalmente pela elevada dispersão dos valores que é característica predominante em estudos de campo.

5.2.4 Influência da altura da fachada na ocorrência do dano

De maneira a estabelecer relações de situações que possam influenciar os processos de degradação, apresentam-se os fatores de danos que ocorrem isoladamente por andar das amostras de fachadas. Esta análise busca esclarecer a Hipótese 4 no sentido de mostrar possíveis relações entre a altura da fachada e os fatores críticos de danos.

A Figura 5.15 mostra a distribuição em porcentagens de danos por andar de fachada em função do total de amostras analisadas. Ressalta-se que cada andar representa uma divisão de cada amostra, ou seja, uma amostra se divide em seis grupos isolados de amostras (6 andares). O primeiro andar (22,1%) apresentou o valor mais elevado de casos de manifestações patológicas. O sexto andar apresentou 18,8%. Os demais andares apresentaram valores próximos de ocorrência de danos, em torno de 15%.

Os resultados obtidos mostram que os andares extremos (primeiro andar e sexto andar) apresentam uma tendência maior a desenvolver problemas patológicos. Os andares extremos em geral estão sujeitos aos maiores esforços mecânicos e térmicos.

Importa lembrar que a altura dos edifícios é importante na incidência de chuva dirigida, ventos, sendo que a região da cobertura tem elevada contribuição térmica. No caso das amostras de edifícios essa relação não se mostra muito evidente tendo em vista a forma arquitetônica disposta horizontalmente e a altura das amostras não ser extremamente elevada, uma vez que os edifícios analisados não constam da classificação de edifícios altos.

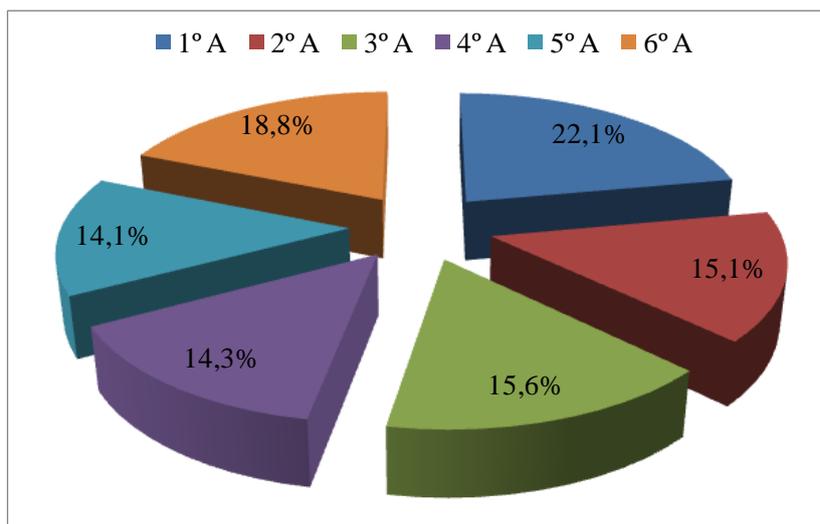


Figura 5.15 – Distribuição da porcentagem de ocorrência de danos nos andares das amostras de fachadas.

A Tabela 5.6 mostra os fatores de danos médios que ocorrem nos andares das amostras de fachadas para oito idades analisadas. Optou-se por apresentar os resultados em valores médios de maneira a condensá-los nas idades das amostras. Vale ressaltar que cada idade apresenta no mínimo seis resultados referentes aos seis andares analisados.

Observa-se um aumento dos fatores de dano em função da idade das fachadas. Em algumas idades (8 e 19 anos do FD - 1º A), entretanto, ocorre um aumento ou redução dos fatores de danos provocando um desvio no crescimento progressivo dos danos. Duas amostras apresentam resultados anômalos em função da idade. A amostra com 19 anos apresenta valores dos fatores de danos muito inferiores aos registrados na amostra de 8 anos em todos os andares. As análises anteriores mostram uma progressão dos danos com o tempo, fato este não observado nestas duas amostras.

Sendo assim, no tratamento dos resultados em função da idade se faz uma análise sem a consideração destas duas amostras tendo somente o caráter de verificar a influência desses resultados anômalos. Pouca variação dos resultados foi observada com a retirada destas amostras anômalas. Manteve-se, contudo, a retirada das amostras para as análises em função da altura do edifício.

O maior valor do Fator de Dano médio foi registrado na amostra de 36 anos de idade no 4º andar (65,2%) e no 1º Andar (64,3%). Os valores dos fatores de danos para todos os andares, na maioria das amostras, são bastante próximos. Os resultados dos fatores de

danos não se mostram conclusivos quanto a influência da altura nos processos de degradação das fachadas.

Tabela 5.6 – Fator de Danos médio nos andares das amostras de fachadas.

Idade	Fator de Danos médio por andar					
	FD - 1º A	FD - 2º A	FD - 3º A	FD - 4º A	FD - 5º A	FD - 6º A
5	7,0%	8,6%	5,1%	9,4%	8,5%	9,3%
6	8,2%	9,9%	8,9%	15,4%	12,9%	6,3%
8*	32,0%	27,0%	26,9%	25,2%	16,9%	36,2%
9	19,2%	16,6%	16,9%	12,0%	12,2%	9,6%
10	21,5%	7,6%	13,6%	9,5%	9,1%	8,5%
17	34,9%	35,1%	24,7%	16,5%	23,1%	10,7%
19*	3,3%	4,2%	2,9%	8,9%	3,2%	3,7%
32	56,6%	48,9%	51,1%	50,2%	56,7%	50,4%
36	64,3%	62,7%	62,7%	65,2%	64,0%	61,1%

*Amostras com valores anômalos de fatores de dano médios.

Complementando as análises, a Figura 5.16 mostra que o Fator de Danos médio em função da idade e localização do andar das amostras de fachadas apresenta um crescimento do Fator de Dano médio nas maiores idades (32 e 36 anos). Destas duas amostras, os fatores de danos (em todos os andares) se apresentam mais regulares na amostra de 36 anos. Isto pode ser oriundo da evolução dos danos para os demais andares com o decorrer do tempo. Apesar da regularidade se observa que as fachadas com 36 anos apresentaram fatores de danos maiores no quarto andar e no primeiro andar.

De maneira geral o primeiro andar das amostras analisadas se apresentou mais degradada. Esse resultado pode ser oriundo de outros fatores, como a disposição estrutural. Os edifícios residenciais de Brasília apresentam formas arquitetônicas dispostas horizontalmente e se caracterizam por apresentar lajes em balanço com linha de pilares estruturais recuada da face do edifício. Nestes casos, configurando-se como balanços, as lajes-tipo projetadas que compõem o primeiro pavimento apresentam esforços mecânicos que desencadeiam nas fachadas elevados estados de deformações e consequente surgimento de patologias como fissuras e descolamento cerâmico.

Nota-se pouca relação entre a posição dos andares e os resultados dos fatores de danos. A altura, no caso das amostras analisadas não mostram diferenças significativas entre os

andares. Contudo, observa-se, a partir da Figura 5.16, a influência da idade. Edifícios em idades avançadas apresentam, em todos os andares, um aumento significativo nos valores dos fatores de danos. Nestes resultados não são consideradas as amostras anômalas (amostras com 8 e 19 anos).

Neste sentido, a relação mais evidente ou mais crítica para responder ao questionamento estabelecido na Hipótese 4, considerando os resultados dos fatores de danos, se refere ao tempo de exposição e não propriamente à altura do andar para edifícios até seis pavimentos.

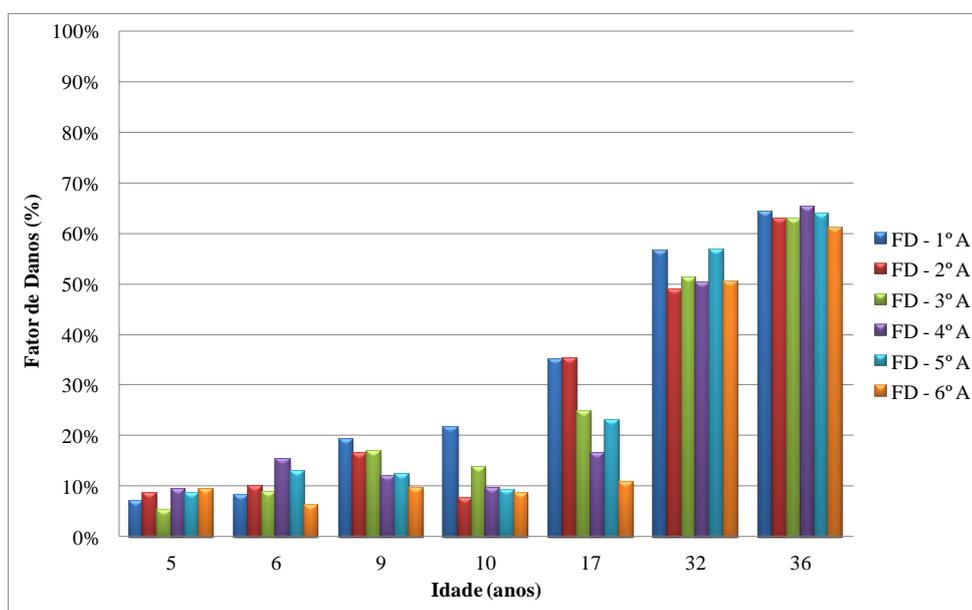


Figura 5.16 – Fator de Danos médio em função da idade e posição do andar das amostras de fachadas.

Na Tabela 5.7 se apresenta os resultados das análises para as amostras de fachadas em função do andar (Apêndice E – Tabela E-3).

Pode ser observado na Tabela 5.7 que o valor de p obtido a partir da ANOVA foi igual a 0,99. Esse valor (maior que 0,05) indica que não existe diferença significativa entre os valores dos Fatores de Danos e os seis andares das fachadas.

Tabela 5.7 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função do andar (altura).

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	P
Interseção	29071,57	1	29071,57	56,24	0,00
Andar	230,55	5	46,11	0,09	0,99
Erro	18608,23	36	516,90		

Na Figura 5.17 pode ser observado o valor médio do FD com o intervalo de confiança 0,95 e a dispersão obtida em todos os andares analisados. Pode-se observar que não existem diferenças significativas entre os FD dos andares das fachadas.

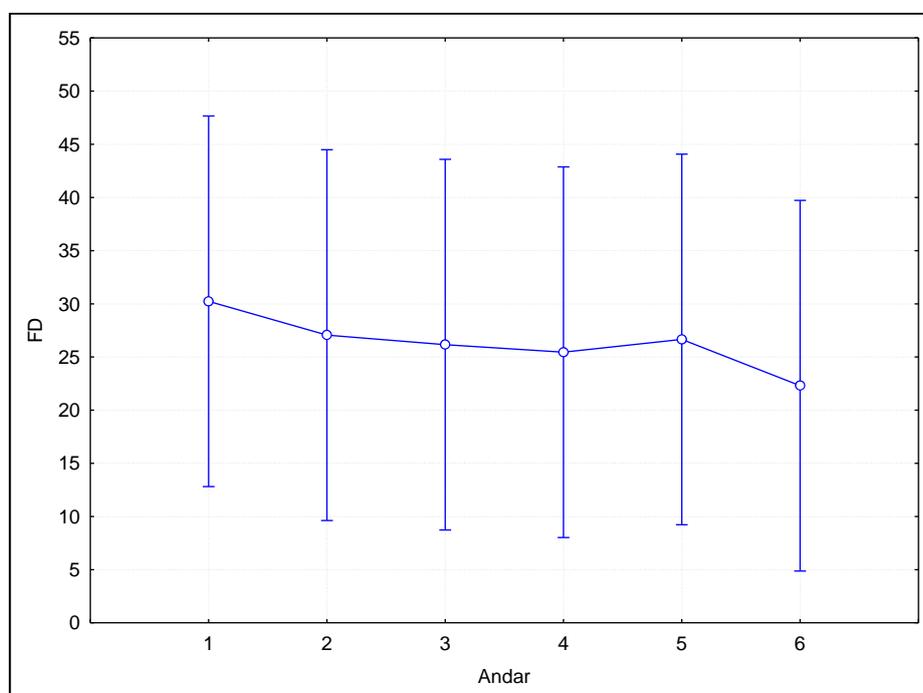


Figura 5.17 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função do andar (altura) das amostras de fachadas.

De acordo com a análise estatística, que mostra não haver diferença significativa entre os seis andares das fachadas, bem como considerando uma análise de tendências, a Hipótese 4 não pode ser confirmada. Os FD dos seis andares não apresentam diferença significativa que possa atribuir maior efeito do FD à influência da altura dos edifícios.

5.2.5 Influência da região de análise da fachada

A complexidade da análise dos danos se mostra mais evidente quando se busca pormenorizar as sete regiões (paredes contínuas-PC, aberturas-AB, sacadas-AS, cantos e extremidades-CE, juntas entre pavimentos-JP, transição entre pavimentos-TP e topo-TO) que compõem as fachadas. Cada região representa um elemento diferente da fachada (Capítulo 4, Figura 4.9). Nesta análise é possível encontrar relação entre algumas das principais variáveis intrínsecas ao sistema de revestimento, principalmente sua própria composição (em camadas de diferentes materiais) e seu confinamento (entre vigas e pilares).

Para verificar a Hipótese 5 (regiões das fachadas consideradas mais críticas), Hipótese 6 (relação dos elementos de fachadas ligados a elementos estruturais na evolução dos danos) e Hipótese 7 (relação entre empenas e agressividade dos danos) se faz uma apresentação das porcentagens de ocorrências das manifestações patológicas considerando toda a amostragem para cada região de análise. Esta análise representa uma visão global do mapeamento dos danos.

5.2.5.1 Influência da ocorrência de patologias nas regiões de análise das fachadas

A Figura 5.18 apresenta as porcentagens de ocorrência de patologias por região de fachada em função do total dessas ocorrências. As paredes contínuas (33,4%) apresentaram as maiores incidências de manifestações patológicas. As regiões das aberturas, dos cantos e extremidades e das sacadas também apresentaram valores elevados de ocorrência de danos (22,4%, 20,2% e 9,2%, respectivamente). As demais regiões (A transição entre pavimentos, topo e juntas entre pavimentos) apresentaram menores proporções de danos, 8,0%, 4,4% e 2,4%, respectivamente.

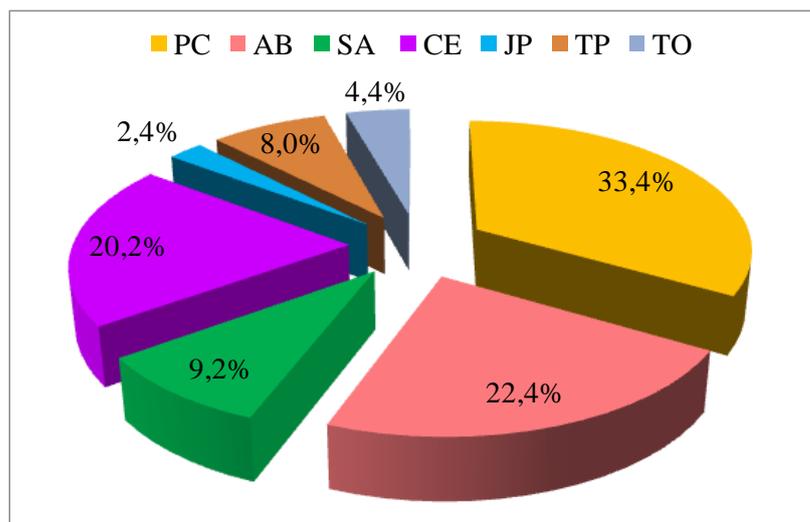


Figura 5.18 – Distribuição da porcentagem de ocorrência de danos em regiões das amostras de fachadas.

O elevado percentual de ocorrência de danos em paredes contínuas (33,4%) pode ser atribuído à grande extensão de sua área em relação às demais regiões e ainda em virtude do confinamento dessa região, que, em geral apresenta restrições em seu contorno ou perímetro, limitando a dissipação ou acomodação das deformações. Ou seja, as manifestações patológicas surgem quando esta região é solicitada por cargas cíclicas e acima de sua capacidade resistente. Este resultado reforça a necessidade do uso de juntas verticais nas fachadas dos edifícios.

A região das aberturas apresenta descontinuidade do sistema de revestimento em virtude de sua localização, no contorno dos vãos das janelas. São, portanto, regiões consideradas frágeis e críticas em função das elevadas tensões diferenciada em seu contorno, pela ausência ou ineficiência de vergas e/ou contravergas e ainda devido aos impactos mecânicos no encontro entre as esquadrias e o revestimento. Essas condições explicam o percentual de 22,4% de danos observados nessa região.

Os cantos e extremidades (20,2% em idades acima de 10 anos) surgem também como regiões críticas devido ao confinamento (cantos de fachadas) e descontinuidade do sistema (extremidades de fachadas). Os danos nessas regiões resultam dos movimentos de dilatação ou retração, decorrente das variações térmicas ou condições de umidade. A descontinuidade nessa região gera restrições que, por sua vez, concentram elevadas tensões. São regiões que necessitam de elementos dissipadores de tensões (elastômeros). A ausência de juntas de dessolidarização no encontro dos panos de revestimento

provocam tensões e as consequentes patologias nessas regiões.

O percentual de área de danos observados na região das sacadas (9,2%) evidencia que estas também são regiões críticas, principalmente por sua configuração, em balanço que provoca, em geral, elevadas tensões, deformações e movimentação diferencial, podendo culminar no surgimento de diversos tipos de manifestações patológicas.

A sacada é um elemento arquitetônico comum em edifícios residenciais em Brasília, principalmente em edifícios com idades inferiores a 30 anos. Por sua característica (ligadas às vigas), são regiões críticas por serem propícias às deformações mecânicas provocadas pelo balanço. Neste sentido essas regiões sofrem tensões mecânicas, térmicas, cíclicas, fadiga, dentre outros. Em geral essa região apresenta danos do tipo fissuras e descolamentos cerâmicos na interface estrutura-alvenaria. Ou seja, as deformações do elemento estrutural provocam falhas de aderência na ligação estrutura-alvenaria gerando uma fissura horizontal que acompanha essa interface e uma fissura inclinada na face lateral. Essas fissuras são típicas de alvenaria (elemento rígido) assentadas sobre elementos estruturais em balanço.

A região das sacadas, em termos de levantamento da ocorrência de danos (área de danos) representa de forma menos intensa, contudo, ainda com certa magnitude (9,2%), relação coerente entre a ocorrência do dano com o fato deste elemento apresentar patologias oriundas de elevadas tensões mecânicas provocadas por sua ligação com o elemento estrutural (viga).

A transição entre pavimentos (8,0%) também é uma região bastante crítica. Nessa região ocorre o contato da alvenaria de vedação com a viga do sistema estrutural gerando movimentações diferenciadas elevadas. As manifestações patológicas podem ser atribuídas à ausência de juntas de dilatação horizontal que permitam a dissipação das deformações provocadas pela movimentação diferenciada do sistema.

As demais regiões, apesar de apresentar menores frequências de ocorrência de danos, também são regiões que merecem atenção quanto à intensidade de ocorrência das manifestações patológicas tendo em vista, principalmente, o efeito progressivo dos processos de degradação.

A região das juntas entre pavimentos apresentou a menor ocorrência de danos. Destaca-se

que esse resultado se deve à pequena área considerada para a mesma. São diversos os fatores que podem provocar o surgimento de patologias nessa região, tais como: deficiência de manutenção; ação de intempéries; uso de material inadequado (rígido) no seu preenchimento; defeito de execução por não atendimento às especificações de projeto, como geometria (largura e profundidade), preparação da superfície de contato ou, ainda devido à especificação inadequada do tipo de selante.

As falhas ou ausência na aplicação do selante, procedimentos inadequados de limpeza, ataques de agentes atmosféricos agressivos e/ou solicitações mecânicas por movimentações não previstas e ainda a não substituição do selante após o prazo de garantia (bem menor que o prazo de vida útil da fachada) aumentam a degradação na região das juntas entre pavimentos que, por sua vez, aceleram o envelhecimento precoce do sistema de revestimento por permitir o acesso de água para o interior das camadas do revestimento.

Os danos localizados na região de transição entre os pavimentos podem ser atribuídos à ausência ou deficiência das juntas de movimentação. Em grande parte das amostras, principalmente edifícios com idade acima de 10 anos, não foram encontradas juntas de movimento na região de transição entre pavimentos. Em virtude de não haver exigência normativa, essa característica era comum em construções antigas de Brasília.

Esta região ainda apresenta fragilidade por estar localizada na interface da alvenaria com as vigas da estrutura. Isso ocorre porque as deformações estruturais do edifício geram tensões na alvenaria que podem atingir o sistema de revestimento. A ausência ou deficiência das juntas de movimentação insere restrições ao sistema de revestimento que passa a se comportar como uma estrutura rígida e monolítica. Sendo assim, ao ser solicitado acima de sua capacidade de suporte, o sistema de revestimento entra em colapso, surgindo fissuras e descolamento.

De maneira geral, os resultados demonstram a fragilidade dessas regiões em função do confinamento, continuidade e descontinuidade das fachadas evidenciando, principalmente, a elevada fragilidade da região das paredes contínuas para o surgimento de manifestações patológicas. Ressalta-se, porém que estas observações são obtidas do levantamento das áreas das anomalias, sem considerar qualquer outro tipo de influência.

5.2.5.2 Análise dos fatores de danos (FD) relativos das regiões

A Figura 5.19 apresenta os resultados dos fatores de danos relativos das regiões (paredes contínuas-PC, aberturas-AB, sacadas-SA, cantos e extremidades-CE, juntas entre pavimentos-JP, transição entre pavimentos-TP e topo-TO). A ponderação efetuada para compensar a relação entre as áreas de regiões pequenas mostra que os fatores de danos mais evidentes aparecem em três regiões: juntas entre pavimentos (33,0%), transição entre pavimentos (31,3%) e aberturas (14,3%). Neste caso a Hipótese 5 (regiões das fachadas consideradas mais críticas) assume que essas são as regiões consideradas mais críticas. Tendo em vista que o Fator de Danos na região do topo apresentou um valor baixo (6,3%), as análises não apresentam relação efetiva entre a região de topo (mais exposta) e as condições ambientais severas.

A região que apresenta o menor valor do Fator de Dano (3,4%) é a região das sacadas. Sendo assim, observa-se que, nas amostras de fachadas analisadas, a interligação entre os elementos das fachadas com os elementos estruturais não apresentam relação direta no surgimento de danos, ou seja, não se confirma a Hipótese 6.

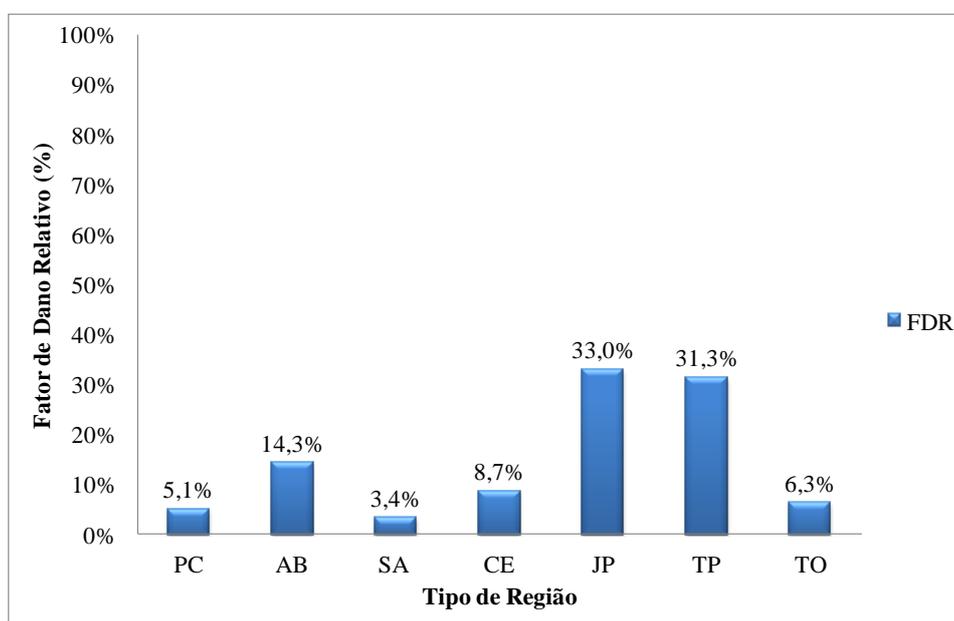


Figura 5.19 – Resultado dos fatores de danos relativos para todas as regiões (paredes contínuas-PC, aberturas-AB, sacadas-SA, cantos e extremidades-CE, juntas entre pavimentos-JP, transição entre pavimentos-TP e topo-TO) analisadas em amostras de fachadas.

Na Tabela 5.8 se apresenta os resultados das análises para as amostras de fachadas em função da região de análise (Apêndice E – Tabela E-4). Pode ser observado na Tabela 5.8

que o valor de p obtido a partir da ANOVA foi igual a 0,00. Esse valor, menor que 0,05, indica que a região de análise das fachadas tem efeito no Fator de Dano (FD) e que existe diferença significativa entre os grupos de regiões (pelo menos entre um desses grupos).

Tabela 5.8 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função da região de análise.

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	P
Interseção	27788,42	1	27788,42	167,88	0,00
Região	14844,47	6	2474,08	14,95	0,00
Erro	25324,83	153	165,52		

A Tabela 5.9 mostra o resultado do Teste de Duncan onde podem ser observadas as médias dos grupos em ordem crescente e as diferenças entre as regiões. Observa-se diferença significativa entre três grupos de regiões. As regiões de TP e JP apresentaram os maiores valores de FD. Essas duas regiões apresentaram diferença significativa com todas as demais regiões. Os resultados indicam não haver diferença significativa entre as regiões de TO, CE e AB. O mesmo ocorre para as regiões das SA, PC, TO e CE.

Tabela 5.9 – Resultados do Teste de Duncan para as amostras de fachadas em função das regiões.

Teste Duncan; MS = 165,52, df = 153,00					
	Regiões	FD (%) – Média	1	2	3
3	SA	3,37	****		
1	PC	5,05	****		
7	TO	6,30	****	****	
4	CE	8,92	****	****	
2	AB	14,28		****	
6	TP	31,35			****
5	JP	33,01			****

Na Figura 5.20 pode ser observado o valor médio do FD com o intervalo de confiança 0,95 e a dispersão obtida entre as diferentes regiões. Pode-se observar que existem diferenças significativas entre a região das juntas entre pavimentos (JP) e da transição entre

pavimentos (TP) com as demais regiões de análise. A região das juntas entre pavimentos (JP) apresentaram a maior dispersão. Nas demais regiões as dispersões são similares.

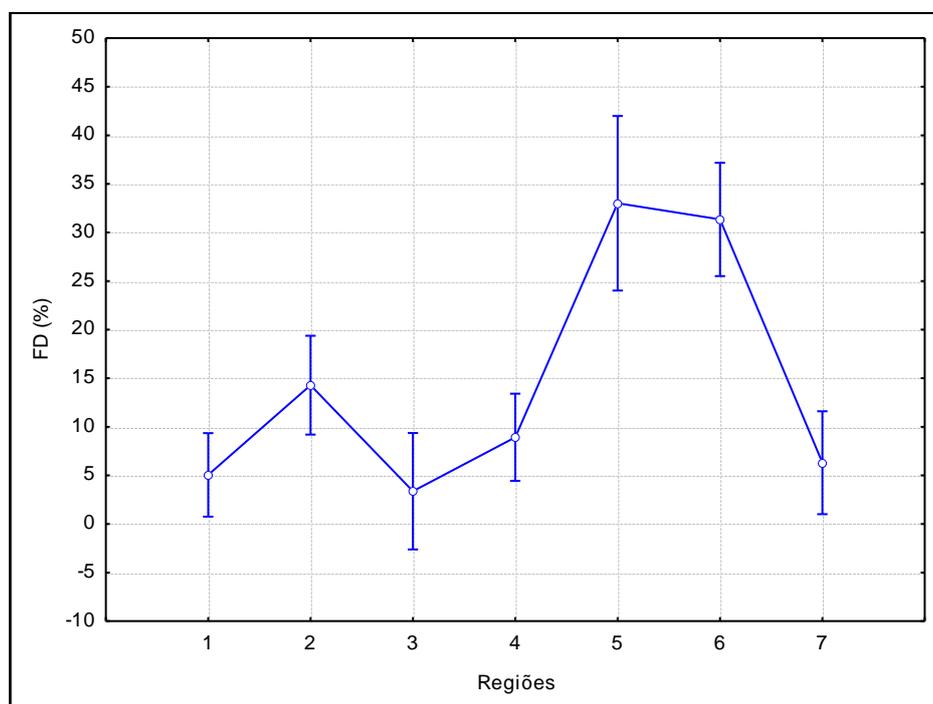


Figura 5.20 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função da região de análise.

A análise estatística mostra que as regiões de JP e TP apresentam os maiores valores de média de FD e ainda mostra que não existe diferença significativa entre essas duas regiões. Sendo assim, essas duas regiões elucidam a Hipótese 5, ou seja, a JP e a TP são as regiões mais críticas. A Hipótese 6 que trata da influência da interligação entre os elementos de fachada com os sistemas estruturais na ocorrência de patologias não fica comprovada tendo em vista que a a região das Sacadas (SA) apresentaram as menores médias do FD.

5.2.6 Influência das empenas das fachadas

A influência da empena, que se constitui de panos contínuos sem aberturas (empenas cegas) ou com aberturas, pode ser verificada através da Figura 5.21, que apresenta a amostra separada em dois grupos: o primeiro formado por prumadas e o segundo, formada pelas empenas. Notam-se, inicialmente em idades acima de 12 anos, a influência do pano

contínuo no surgimento das patologias, sendo, inclusive mais evidente em idade superior a 30 anos.

Estes resultados mostram certa tendência da influência das empenas no aumento dos fatores de danos em idades avançadas acelerando o processo de degradação das fachas. A Hipótese 7, portanto, não fica totalmente comprovada em função da análise de tendências.

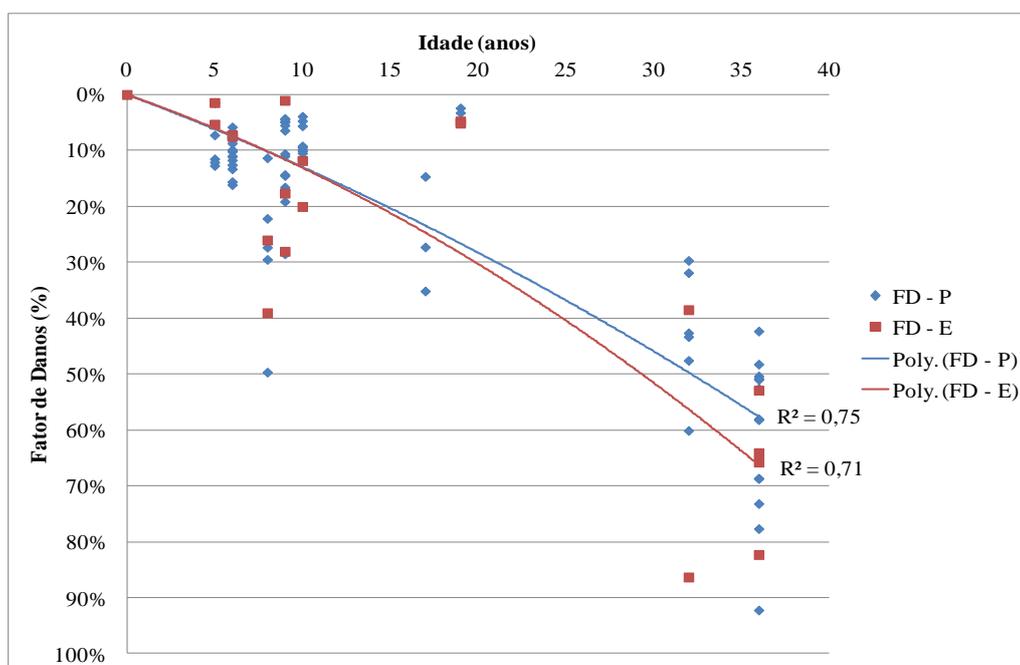


Figura 5.21 – Relação entre os fatores de danos em prumadas e empenas nas amostras de estudo.

Na Tabela 5.10 se apresenta os resultados das análises para as amostras de fachadas em função da orientação (Apêndice E – Tabela E-5). Pode ser observado na Tabela 5.10 que o valor de *p* obtido a partir da ANOVA foi igual a 0,33. Esse valor (maior que 0,05) indica que as prumadas (P) e empenas (E) não tem efeito no Fator de Dano (FD) ou ainda que não existem diferenças significativas entre o FD de P e E.

Tabela 5.10 – Resultados da ANOVA para as amostras de fachadas em função das prumadas (P) e empenas (E).

Efeito	SQ	Graus de Liberdade	QM	Razão QM (F)	<i>P</i>
Interseção	42940,81	1	42940,81	78,22	0,00
P e E	528,43	1	528,43	0,96	0,33
Erro	48311,51	88	548,99		

Na Figura 5.22 pode ser observado o valor médio do FD com o intervalo de confiança 0,95 e a dispersão obtida para as prumadas e empenas. O FD das empenas (E) apresentou a maior dispersão.

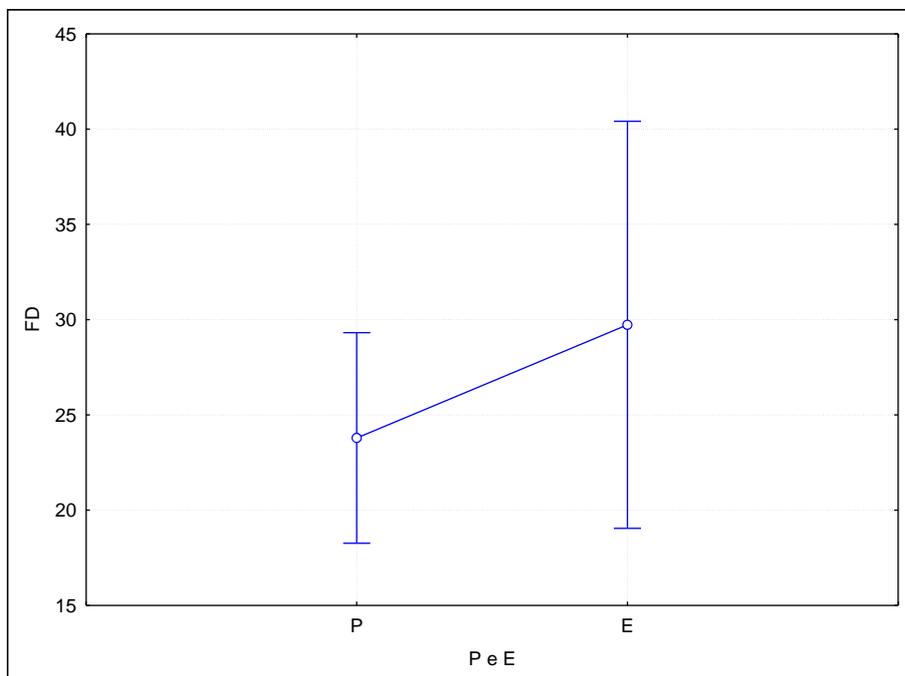


Figura 5.22 – Gráfico do valor médio e intervalo de confiança do FD em função das prumadas-empenas das amostras.

Os resultados da análise estatística mostram não haver diferença significativa entre as prumadas e empenas, ou seja, a Hipótese 7 não pode ser confirmada. Entretanto, partindo de uma análise de tendências, observa-se que as empenas apresentam valores maiores de FD, ou seja, são fachadas mais propensas ao fenômeno de degradação.

5.2.7 Considerações sobre o Capítulo

Uma questão importante a ser considerada no surgimento de patologias reside no fato do sistema de revestimento ser composto por camadas de materiais diferentes intimamente ligados. Contudo, como essas camadas apresentam propriedades diferentes (módulo de elasticidades, coeficiente de expansão térmica, deformação específica), sofrem movimentações diferenciais intensas em cada camada. Deficiências como falhas de aderência, associadas às elevadas tensões, principalmente de natureza térmica, podem

provocar danos internos e se propagar em descolamentos entre as cerâmicas e as camadas suporte.

As análises mostram diferenças significativas do estado de degradação das fachadas em função do tipo de análise: quantificação simples de ocorrências das manifestações patológicas e análise proporcional dos danos (FD). As análises de degradação das fachadas são abordadas em função de três tipos:

- Distribuição dos fatores de danos;
- Quantificação simples de porcentagem de ocorrências das manifestações patológicas;
- Análise proporcional da degradação (extensão dos danos) através do Fator de Danos (FD).

A distribuição dos fatores de danos é um parâmetro quantitativo de cada tipo de manifestação patológica (anomalia) em função do total da amostra. Fornece somente um indicativo sobre a área afetada sem consideração da gravidade do estado de degradação para cada anomalia. Essa forma de análise pode não refletir a verdadeira situação com que as anomalias afetam e degradam as fachadas. Na Tabela 5.11 são apresentados os resultados frequências e porcentagens de ocorrência dos fatores de danos analisados. Observa-se elevada frequência de ocorrência de fatores de danos de todas as patologias na classe que representa os menores valores de FD. A Tabela 5.12 mostra os resultados mais evidentes para todas as análises em função dessa distribuição dos fatores de danos.

Tabela 5.11 – Tabela com as frequências e porcentagens de ocorrência dos Fatores de Danos das amostras de fachadas.

Classes	FD-DC		FD-FR		FD-FI		FD-EF		FD-FV		FD TOTAL	
	Freq.	%	Freq.	%								
1ª	31	41%	24	48%	48	68%	6	50%	6	35%	42	47%
2ª	16	21%	9	18%	14	20%	1	8%	2	12%	14	16%
3ª	8	11%	6	12%	4	6%	-	0%	1	6%	9	10%
4ª	6	8%	6	12%	1	1%	-	0%	2	12%	5	6%
5ª	5	7%	-	0%	3	4%	1	8%	3	18%	9	10%
6ª	5	7%	1	2%	-	0%	-	0%	1	6%	6	7%
7ª	2	3%	2	4%	-	0%	3	25%	1	6%	2	2%
8ª	2	3%	2	4%	1	1%	1	8%	1	6%	3	3%
Total	75		50		71		12		17		90	

Tabela 5.12 – Maiores valores dos fatores de danos observados na distribuição da frequência de ocorrência.

Tipo de Fator de Dano	Qtde amostra	Valores dos fatores de danos			Freq. Ocorrência
		Valor Máximo	Valor mínimo	Classe ocorrência	
FD-Total	90	92,2%	1,0%	1,0%~12,4%	42
FD-DC	75	82,9%	0,1%	0,1%~10,4%	31
FD-FR	50	19,2%	0,1%	0,1%~2,5%	24
FD-FI	71	41,0%	0,1%	0,1%~5,2%	48
FD-EF	12	1,7%	0,1%	0,1%~0,3%	6
FD-FV	17	5,6%	0,3%	0,3%~1,0%	6

O Fator de Danos Total (FD-Total) apresenta maior frequência de danos (42) em virtude da associação de todas as patologias. Todos os resultados da Tabela 5.12 mostram que a maior frequência de ocorrência dos fatores de danos ocorre em uma faixa a partir de seus valores mínimos.

Analisando a classe de ocorrência observa-se que o descolamento cerâmico aparece como principal manifestação patológica das fachadas em função das variáveis que influenciam no seu surgimento devido ao sinergismo com outros tipos de patologias, bem como devido às condições severas de exposição. As fissuras ocorrem de maneira mais evidente nas primeiras idades e sua ocorrência diminui nas amostras com idades mais avançadas. Esse comportamento demonstra que esta patologia interage principalmente com o descolamento cerâmico. Esse comportamento acelera o processo de degradação com o tempo.

Os resultados dos fatores de danos (FD) mostraram que esta ferramenta é eficiente na análise preliminar da degradação das fachadas em função da idade e da orientação cardinal nas fachadas dos edifícios. A análise do Fator de Danos permitiu identificar que as fachadas mais críticas são aquelas com idades superiores a 30 anos.

As análises estatísticas mostraram que não existe diferença significativa entre as quatro orientações, ou seja, não existe predominância de uma orientação em relação às demais. Possivelmente esses resultados se devem à dispersão entre os valores observados na amostra (diferentes prédios, diferentes idades, técnicas construtivas diferenciadas, dentre outros). Contudo, considerando uma análise de tendências, os resultados dos fatores de danos mostraram que as orientações Norte e Oeste de Brasília são as mais críticas ou

aquelas mais susceptíveis à degradação. Foi possível identificar as condições de exposição como mecanismos importantes no surgimento e intensificação das patologias das fachadas. A análise da tendência média permite identificar os comportamentos diferenciados da amostra. Ressalta-se que, se for feita somente uma análise estatística, pode-se deixar de concluir aspectos importantes. É provável que os resultados sempre apresentem uma grande variabilidade, o que enfatiza a necessidade da análise de tendências (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Maior valor do Fator de Danos em função da orientação das fachadas.

ORIENTAÇÃO	FD-DC	FD-TOTAL
Norte (N)	24,3%	32,4%
Oeste (O)	24,0%	23,4%

A altura dos edifícios que compõem a amostra não se mostraram críticas quando analisadas em função dos Fatores de Danos (FD) tanto para a análise estatística como para a análise de tendência. Contudo, considerando somente a análise de tendências, o levantamento das áreas de danos se mostrou mais eficiente em estabelecer locais extremos (primeiro pavimento e sexto pavimento) como pontos críticos na progressão da degradação.

A região de paredes contínuas se mostram críticas em termos de intensidade de ocorrência. Contudo, quando a análise é efetuada por intermédio do FD, duas regiões passam a caracterizar mais a degradação, a região de transição entre pavimentos e a região de juntas entre pavimentos (Tabela 5.14). A análise estatística mostrou que não existe diferença significativa entre essas duas regiões, ou seja, ambas são equivalentes.

Tabela 5.14 – Maior valor do Fator de Danos Relativo em função da região de ocorrência de danos nas fachadas.

REGIÃO	FDR (%)
Transição entre pavimentos	33,2%
Juntas entre pavimentos	31,8%

As hipóteses estabelecidas foram esclarecidas em função das análises dos resultados em função da idade, orientação, altura, regiões e empenas das amostras de fachadas de Brasília consideradas neste estudo.

5.3 MODELOS PARA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL MÍNIMA

As análises anteriores nortearam o comportamento das manifestações patológicas sobre a ótica da visão geral obtida do levantamento das áreas de danos em relação às áreas em 90 amostras de fachadas de Brasília, ou seja, da extensão ou severidade dos danos sobre essas fachadas.

A análise dos fatores de danos inclusive já permitiu desenvolver três protótipos de curva de degradação (Figuras 5.8, 5.13 e 5.21). Contudo, esta pesquisa almeja não somente caracterizar os fenômenos de degradação e suas variáveis que aumentam ou reduzam o estado de danos em que se encontram as fachadas, busca ainda desenvolver modelos de danos que possam auxiliar pesquisadores e especialistas na obtenção e compreensão do processo de degradação em que se encontram as fachadas de edifícios com revestimento cerâmico. Neste sentido, as análises também são abordadas em função dos resultados dos danos para três modelos de curvas de evolução de danos, ou seja, curvas de degradação.

Cabe ressaltar a diferença entre o Fator de Danos (FD) e os modelos de análises de degradação e vida útil (FGD e FDC). O Fator de Danos (FD) permitiu efetuar as análises da degradação em função da extensão dos danos, isto porque este modelo de cálculo relaciona a área do dano em função da área total da amostra analisada. O FD não pondera ou estabelece grau de importância de qualquer natureza a cada tipo de patologia. Para classificar a gravidade do dano em função da importância ou da condição de uma patologia em relação à outra e ainda em função do custo de reparação, propõe-se o Fator de Danos Combinado (FDC). Com vista a classificar o dano somente em função do custo de reparação, propõe-se o Fator de Danos Combinado (FDC). Estes modelos permitem avaliar o comportamento diferenciado das curvas de degradação em função de cada nível de importância estabelecido para cada uma das patologias utilizadas nas análises de degradação em fachadas.

Em Portugal, pesquisadores vêm desenvolvendo modelos de curvas de degradação para diversos tipos de revestimento de fachadas. Cita-se o estudo de Gaspar e Brito (2008), Gaspar (2009) que desenvolveu estudo para estimativa de degradação em fachadas com acabamento em rebocado, o estudo desenvolvido por Sousa (2008) em fachadas com revestimento cerâmico e o estudo de Silva (2009) em revestimentos pétreos, dentre outros.

Esses estudos desenvolvidos em Portugal para o estudo de fachadas formaram a base para o desenvolvimento da presente pesquisa. Para tanto, foram necessários algumas adaptações para o estudo da degradação das fachadas com amostras de edifícios de Brasília tendo em vista diferenças extremas entre ambas as localidades, materiais de exposição, degradação, usos diferenciados, dentre outros.

Os modelos de cálculo para o estudo da degradação de fachadas de edifícios de Brasília sofreram, dessa maneira, conforme descrito na metodologia (Capítulo 4), adaptações ao tipo de manifestação patológica, à forma de estabelecer pesos para as diferentes anomalias, principalmente na ponderação do custo de reparação ($k_{c,n}$). Esta alteração é bastante significativa em virtude da notória diferença de realidades entre Brasil e Portugal no que concerne ao custo de reparos das patologias neste tipo de sistema de revestimento.

Para complementar o estudo de degradação e vida útil das fachadas se estabelece outro modelo de cálculo de degradação baseado no método fatorial desenvolvido na Eslovênia (FIB, 1998). Este modelo de fatorial de danos foi desenvolvido para a análise de Índice de danos em estruturas de concreto. Taguchi (2010), por sua vez, fez uma adaptação deste método para o estudo de degradação de quatro elementos de vedação vertical (paredes) de edifícios localizados em Curitiba-PR, conseguindo aplicar o referido método de forma consistente para o caso de vedações verticais.

Este fatorial consiste em estabelecer prioridades ou fatores de ponderações baseados em condições do elemento estudado, extensão do estado de degradação e importância relativa de intervenções na amostra. Sendo assim, parte-se do mesmo princípio de adaptação efetuado por Taguchi (2010) e se estabelece, neste presente estudo, um modelo de análise de danos para as fachadas de edifícios de Brasília.

Para avaliar a vida útil das fachadas se estabelece três modelos de cálculo que permitam o estudo sistemático de degradação em fachadas com revestimento cerâmico:

- Modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD);
- Modelo baseado no Fator de Danos Combinado (FDC);
- Modelo baseado no Método Fatorial de Danos (MFD).

Complementando as análises proposta nesta pesquisa, a partir dos modelos propostos (FGD, FDC e MFD) faz-se uma abordagem utilizando três modelos de curvas de

degradação. Apresenta-se os resultados da evolução de danos com base em curvas de degradação obtidas à partir das 90 amostras de fachadas de Brasília. Inicialmente as análises são realizadas somente em função do comportamento e velocidade de propagação dos danos em fachadas para as orientações Norte, Leste, Sul e Oeste.

5.3.1 Modelos de curvas de degradação em fachadas com revestimento cerâmico

As curvas de degradação obtidas a partir dos resultados da evolução dos danos em função do tempo são apresentadas para os três modelos de cálculo: Fator Geral de Danos (FGD), Fator de Dano Combinado (FDC) e Método Fatorial de Danos (MFD).

A Figura 5.23 mostra os resultados do Fator Geral de Danos (FGD) em função da orientação das fachadas (Norte, Leste Sul e Oeste). Ressalta-se que a idade inicial das amostras de fachadas é considerada no tempo (0,0) zero. A evolução dos danos em função da idade se caracteriza por apresentar um comportamento bastante acelerado do processo de deterioração a partir de 12 anos. Essa degradação se mostra ainda mais contundente em fachadas com idades acima de 30 anos.

O comportamento das curvas de degradação do FGD mostram tendências diferenciadas para as orientações Sul-Leste e Norte-Oeste. As quatro orientações se agrupam em dois grupos de evolução de danos. Esse mesmo comportamento já havia sido observado na Figura 5.13 quando da análise da curva de degradação representativa dos Fatores de Danos (FD). Os resultados mostram que as fachadas com orientações Oeste e Norte de Brasília apresentaram, notadamente, os maiores fatores gerais de degradação.

Para idades inferiores a 20 anos, a orientação Norte apresenta FGD pouco maiores que na orientação Oeste e, a partir dos 12 anos, ocorre um inversão do FGD nestas duas orientações em que os valores mais elevados passam a ocorrer na orientação Oeste. Essa inversão está associada as falhas de execução que atrapalham a modelação nas fases iniciais. Inclusive esta orientação, a partir de 12 anos, sofre um aumento progressivo da velocidade de degradação. Esta velocidade acentuada é evidenciada pela inflexão após 12 anos. Este resultado evidencia o efeito da radiação solar, uma vez que a orientação Oeste (poente), em geral é considerada mais nociva conforme relatam Just e Franco (2001), Sousa (2008) e Gaspar (2009) em seus estudos. Esse mecanismo de degradação,

logicamente associado à outros mecanismos se apresenta, dessa forma, variáveis importantes a serem consideradas no comportamento do FGD.

Os resultados do FGD permitiram comprovar a influência da orientação das fachadas na evolução e aceleração da degradação, pois permitiu identificar com precisão os diferentes níveis de degradação em relação à idade, evidenciando maior intensidade de degradação para os edifícios com idades superiores a 10 anos. As amostras apresentaram, para este modelo de cálculo, resultados representativos do processo evolutivo de degradação, principalmente nas idades superiores a 30 anos, que apresentaram os maiores valores do FGD, sendo mais evidente em relação à orientação mais crítica (Oeste).

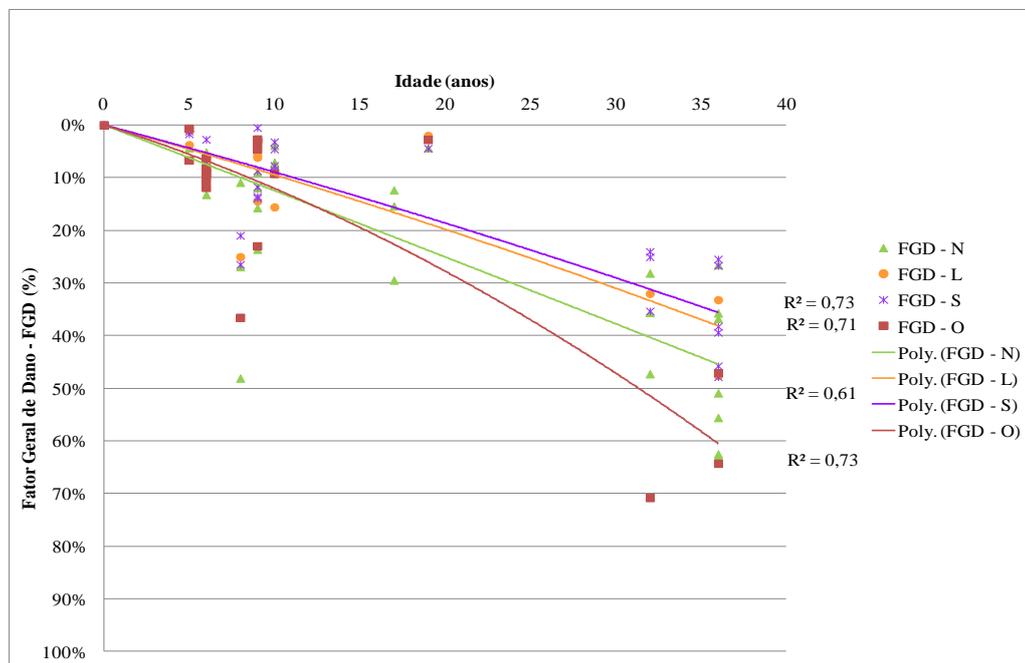


Figura 5.23 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos (FGD).

A Figura 5.24 mostra em detalhe a elevada variação nas primeiras idades para a curva de degradação obtida pelo FGD. Observa-se que, nas primeiras idades, as fachadas apresentam uma vida muito curta que pode estar associada a fatores como falha de projeto ou execução. Analisando as idades isoladamente se observa que, para a idade de 5 anos a tendência da curva de degradação mostra que a orientação que apresenta maior valor de FGD é a Norte, seguida da Oeste, Sul e Leste. Nas amostras com 8 e 9 anos se observa outra resposta, ou seja, o maior FGD é apresentado pela orientação Norte, seguido da Oeste, Leste e Sul. Já para idades próximas de 15 anos, a sequência decrescente dos valores do FGD compreende as orientações Oeste, Norte, Leste e Sul. Estes resultados

mostram que os resultados das amostras consideradas isoladamente se apresentam com configurações diferenciadas e com elevada dispersão. A tendência das curvas em função da orientação se deve ao resultado do conjunto de toda a amostra. Esse comportamento significa que as falhas observadas nas fachadas nessas idades estão associadas à falha de projeto, execução ou ainda à deficiência de desempenho.

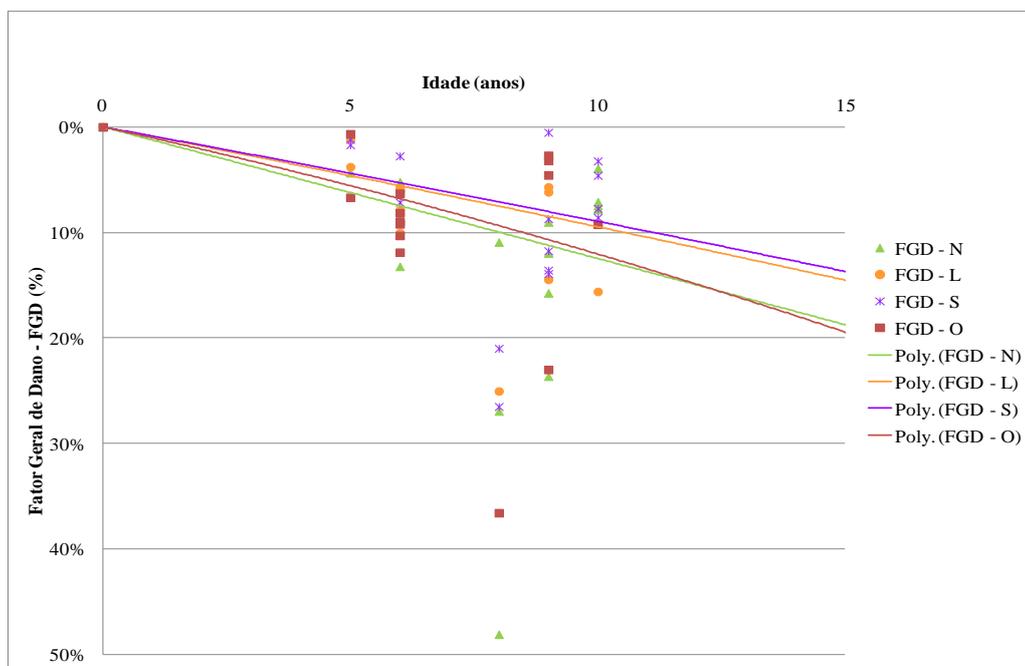


Figura 5.24 – Detalhe das curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos (FGD).

A Figura 5.25 mostra os resultados para as curvas de degradação obtidas a partir do Fator de Danos Combinado (FDC). Esse procedimento de análise retrata o comportamento da degradação das fachadas com revestimento cerâmico quando as variáveis de análise (tipo de manifestação patológica) são ponderadas somente em função da equivalência do custo de reparação do dano.

Os resultados são semelhantes àqueles obtidos na Figura 5.23 para o FGD. Note que o FGD apresenta uma quantidade maior de fatores de ponderação. Entretanto, os resultados se apresentam muito próximos, quase coincidentes. Sendo assim, o fator de ponderação determinante para ambos os modelos de cálculo (FGD e FDC) é aquele relacionado ao custo de reparação dos danos que ocorrem nas fachadas.

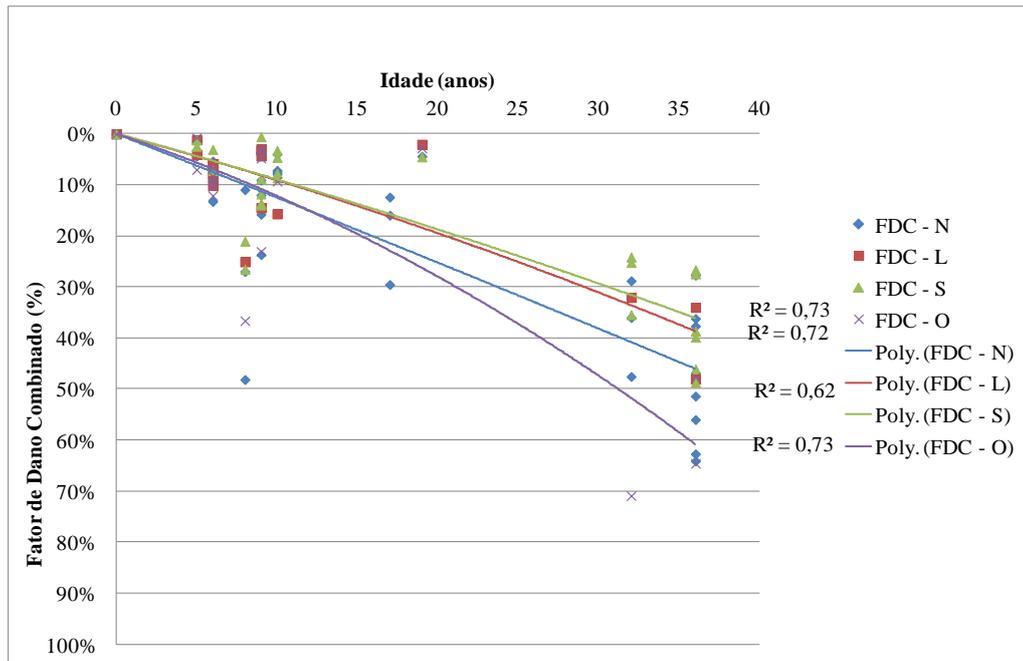


Figura 5.25 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado (FDC).

A Figura 5.26 mostra o comportamento da curva gerada a partir do FDC para idades abaixo de 12 anos. O FDC apresenta valores dispersos para essa faixa de idade das fachadas, ou seja, apresenta comportamento similar à curva de degradação do modelo de quantificação baseado no FGD. Analisando as idades isoladamente se observa comportamento semelhante ao observado na Figura 5.24.

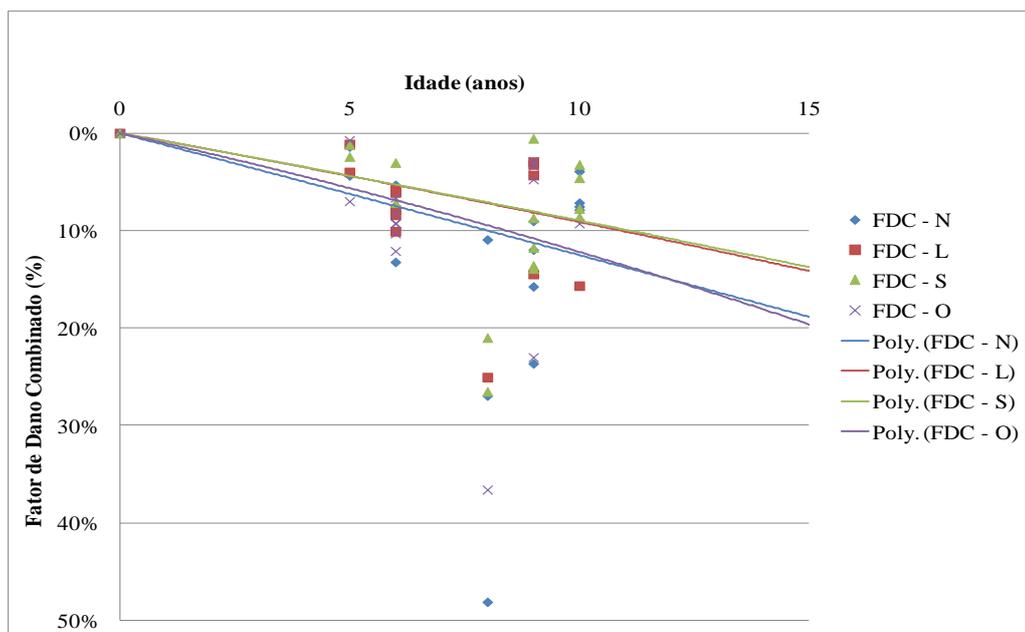


Figura 5.26 – Detalhe das curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado (FDC).

A Figura 5.27 apresenta o comportamento das curvas de degradação em função da orientação das fachadas obtidas a partir do Método Fatorial de Danos (MFD). Essas curvas mostram um início de degradação com valores abaixo de 20% em idades inferiores a 10 anos e, logo após esse período, a degradação das fachadas aumentam consideravelmente.

As orientações Oeste e Norte se mantêm como as mais críticas. A evolução dos danos nas fachadas orientadas à Leste e Sul apresentam, em idades inferiores a 20 anos, comportamentos diferenciados e contrários aos observados para idades superiores a 20 anos (Figura 5.27). Contudo, em idades avançadas, os resultados apresentam o mesmo comportamento obtido para os modelos FGD e FDC.

Apesar da semelhança no comportamento das curvas de degradação para o FGD, FDC e MFD, este último mostra um caráter evolutivo mais acelerado. Esse fato pode ser observado na curva ajustada referente à orientação Oeste (MFD-O), que apresenta índice de dano superior a 120% (36 anos), valor este, muito superior àqueles observados para os modelos FGD e FDC. Nestes dois modelos, as curvas de tendência relativas à orientação Oeste ficaram em torno de 60% para essa mesma idade (36 anos).

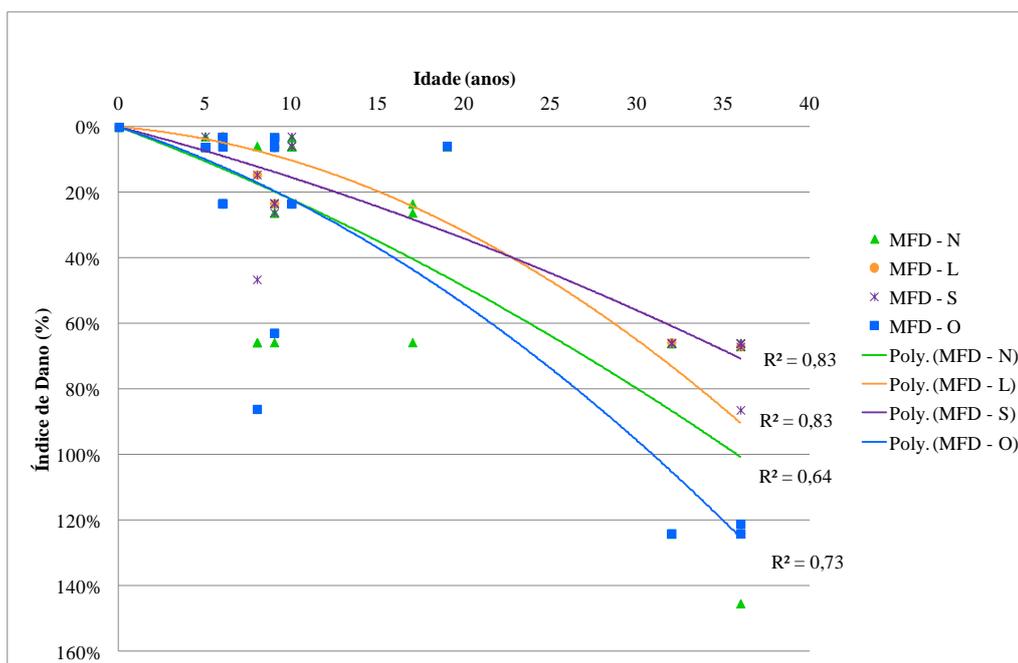


Figura 5.27 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos (MFD).

Importa ressaltar que todos os três modelos permitiram observar um comportamento similar da evolução da degradação das fachadas. As curvas de degradação permitem

compreender como o processo de degradação evolui com o tempo, desde que sejam conhecidos fatores como o tipo de patologia e a agressividade do agente de degradação. As curvas obtidas representam graficamente, a partir de sua evolução, a perda de desempenho ao longo do tempo. Permitem dessa maneira, estabelecer, a partir de um nível mínimo de desempenho, a vida útil residual das fachadas com revestimento cerâmico.

O comportamento da curva de degradação obtida através do MFD também é avaliado em detalhes nas amostras até 12 anos (Figura 5.28). Este modelo comprovadamente apresenta elevada dispersão nessas idades, ou seja, a elevada dispersão e valores de degradação estão associados a possíveis falhas funcionais das fachadas. A análise isolada das idades mostra também um comportamento semelhante ao observado na Figura 5.24.

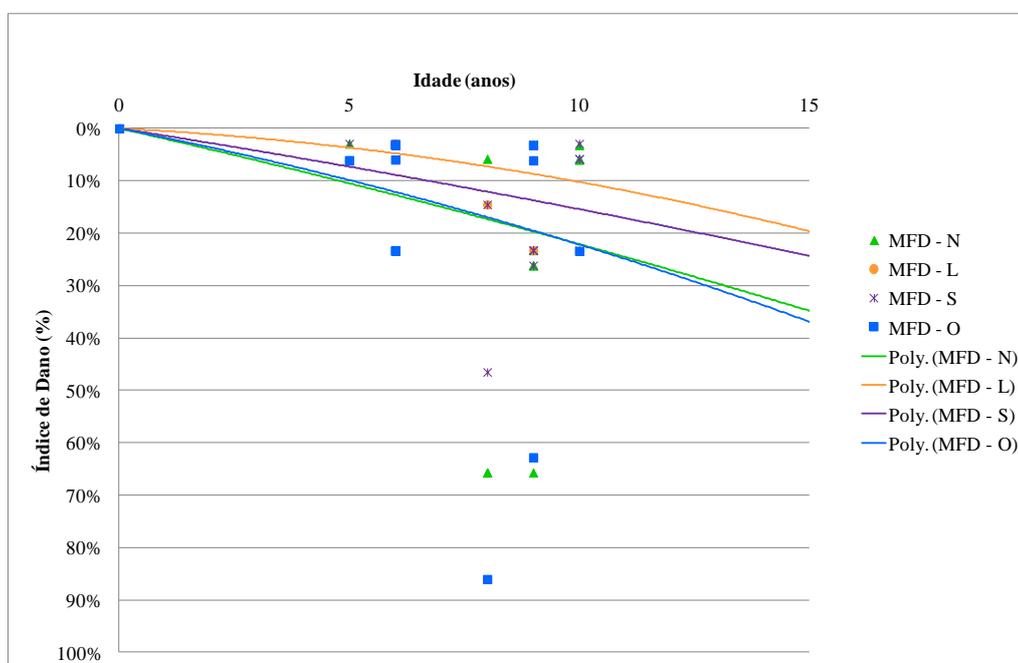


Figura 5.28 – Curvas de evolução da degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos (MFD).

Os resultados mostram, conforme observado anteriormente nas análises das figuras 5.23 a 5.25 que as curvas de degradação resultantes do FGD e o FDC são semelhantes. Esse coeficiente representa 0,63 e 0,64 para os FGD e FDC, respectivamente, sendo considerado valor com dependência relevante.

As curvas FGD-TOTAL e FDC-TOTAL apresentam uma evolução da degradação menos acelerada que as apresentadas pelo MFD-TOTAL. O MFD-TOTAL apresenta a estado de

degradação mais crítico das fachadas. Apresenta-se, portanto como um modelo que representa uma situação severa de degradação.

Diante do exposto, para a continuidade das análises do comportamento de degradação das fachadas, opta-se por analisar exclusivamente um único modelo de curva de degradação, ou seja, modelo baseado no Fator Geral de Danos (FGD). Este modelo considera somente duas variáveis a serem ponderadas (condição do dano e custo de reparação). Apresenta-se, portanto, como um modelo menos complexo, de fácil aplicabilidade e interpretação no meio técnico.

Cabe ressaltar que os resultados dos modelos de cálculo de degradação (FGD, FDC e MFD) propostos neste presente estudo apresentaram regularidade no comportamento da degradação das fachadas, ou seja, todas estas curvas de degradação permitem estabelecer o comportamento da degradação em função do tempo. Esses resultados mostram que um resultado não conclusivo em determinado estudo pode não se repetir em outros (SOUSA, 2008). Outros estudos sobre a degradação em fachadas, porém, mostraram melhores resultados, como o estudo realizado por Gaspar (2009) para revestimentos com reboco e também o estudo de Silva (2009) para revestimento em pedra.

5.3.2 Estimativa de vida útil mínima de fachadas com revestimento cerâmico

As análises das curvas de tendência representativas do comportamento da degradação das fachadas permitem interpretar a evolução progressiva dos danos e estabelecer relação com a vida útil das fachadas.

A Figura 5.29 mostra a curva de degradação obtida a partir do FGD para análise da estimativa de vida útil das amostras de fachadas de Brasília. A ABNT NBR 15575:2013, estabelece uma vida útil de projeto mínima de 20 anos para os sistemas de revestimentos externos. Sendo assim, para análise das amostras de fachadas deste estudo se estabelece essa idade (20 anos) como parâmetro inicial para as análises de vida útil. Deve-se ressaltar que Sousa (2008) estabeleceu o valor da severidade da degradação igual a 20% (limite da vida útil) para cada curva de degradação elaborada em seu estudo. Gaspar (2009), por sua vez, estabeleceu o valor do nível mínimo de aceitação do NGD igual a 30% (equivalente a

um desempenho de 70%) por considerar que esse valor equivale ao nível crítico de degradação dos rebocos.

A Figura 5.29 mostra que, a partir de 20 anos, pode-se estabelecer o Fator Geral de Danos de fachadas para o total de amostras (FGD-Total) adotando como padrão a curva média representativa de toda a amostragem (90 amostras de fachadas). Os resultados mostram ser possível estabelecer um ponto crítico de vida útil mínima a partir da interseção da reta vertical a partir do eixo x (idade = 20 anos) com a curva FGD-Total, obtendo, no eixo y, o valor de $FGD_{(20anos)} = 22,6\%$. Estabelece-se, dessa maneira, um indicativo de nível mínimo de degradação geral.

Esta análise mostra um indicativo para uma tomada de decisão quanto à intervenção para reparos e manutenção poderá ser feita quando uma fachada inspecionada, por exemplo, com 20 anos, apresentar $FGD > 22,6\%$. Esta proposta de análise se apresenta como um patamar indicativo no estabelecimento de situação crítica de degradação e avalia o final da vida útil das fachadas.

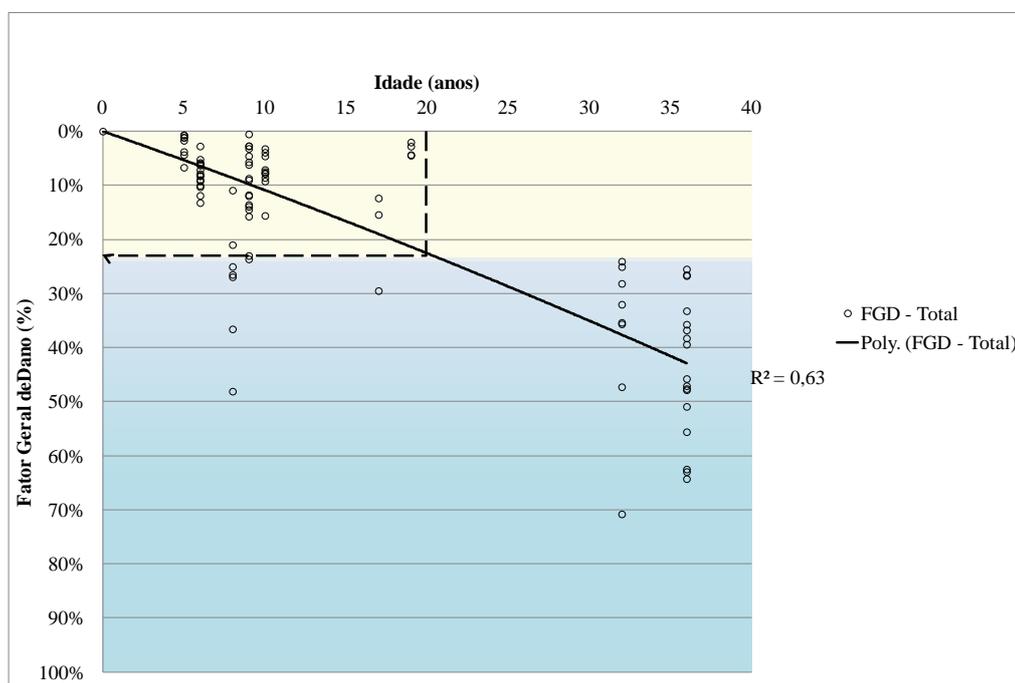


Figura 5.29 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Fator Geral de Danos (FGD).

A Figura 5.30 mostra que o ponto crítico de vida útil mínima obtida em função do Método Fatorial de Danos equivale ao valor de $MFD_{(20anos)} = 41,8\%$.

Este modelo apresenta uma faixa maior para os valores de degradação crítico para a tomada de decisão quanto à intervenção para reparos e manutenção para a mesma idade limite (20 anos). Este modelo de análise também se mostra eficiente para evidenciar o limite de degradação das fachadas considerado crítico.

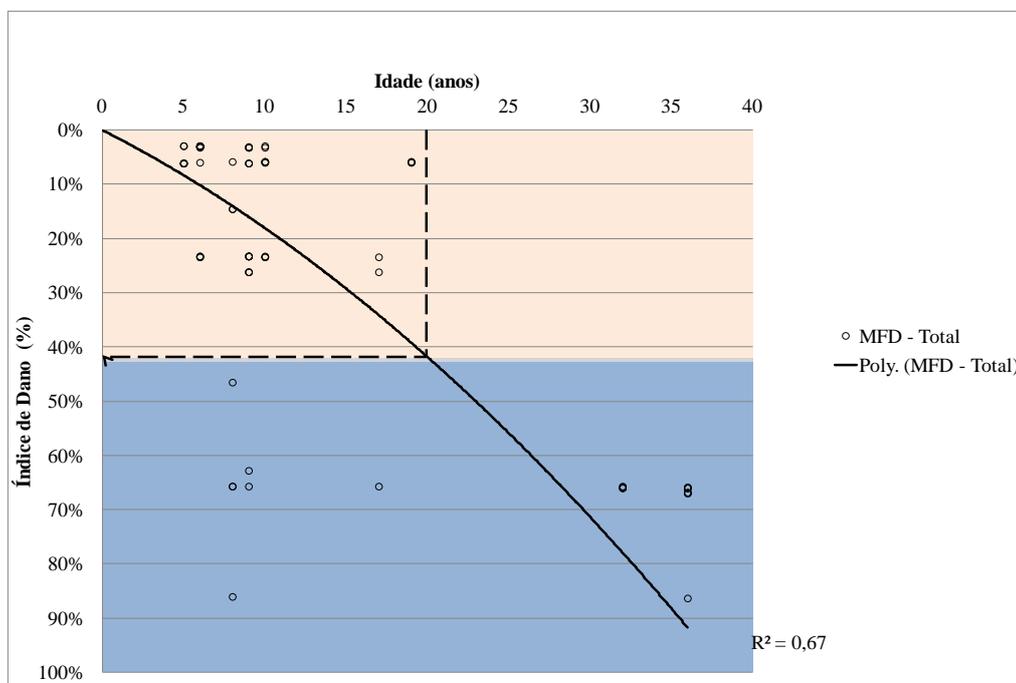


Figura 5.30 – Curvas de evolução da degradação para estimativa da vida útil mínima utilizando o Método Fatorial de Danos (MFD).

5.3.3 Considerações sobre o Capítulo

Os resultados das análises dos modelos propostos para avaliação da degradação e vida útil mostraram ser possível estabelecer um padrão de comportamento da evolução dos danos a partir dos três modelos avaliados (Fator Geral de Danos-FGD, Fator de Danos Combinado-FDC e Método Fatorial de Danos (MFD)). Observa-se em todos os modelos (FGD, FDC e MFD) que, nas primeiras idades, as amostras de fachadas apresentam valores bastante dispersos, em particular às amostras com idade de 8 anos, os resultados foram, também, muito elevados. Degradações em idades precoces em geral estão associadas a fatores funcionais do edifício, como falha de projeto ou execução.

O FGD apresentou um comportamento de degradação bastante diferenciado quando analisado em função das orientações das fachadas. Os resultados mostraram duas faixas

definidas: uma nas orientações Oeste e Norte e outra nas orientações Leste e Sul. Esse modelo representou de forma eficiente degradações mais elevadas nas orientações Oeste e Norte. Houve uma similaridade nos resultados obtidos para o FGD e FDC. Esses dois modelos se diferenciam na atribuição de importância de cada tipo de dano no processo de degradação. Os resultados apresentaram uma variação muito pequena. Não se observou diferença significativa em função da ponderação diferenciada entre o FGD e o FDC.

Os resultados obtidos a partir do MFD apresentaram um comportamento semelhante aos modelos FGD e FDC, contudo, a evolução dos danos a partir das amostras e 10 anos segue um comportamento mais acelerado.

De maneira geral os três modelos de análise do acompanhamento da degradação nas fachadas poderiam ser utilizados em uma análise de estimativa de vida útil de fachadas de edifícios de Brasília. Como a proposta deste estudo consiste em quantificar e estabelecer um modelo padrão que permita avaliar o estado de degradação de fachadas com revestimento cerâmico, estabeleceu-se o FGD como modelo padrão de cálculo a ser sistematizado para promover análises de degradação e vida útil de fachadas com até 60 anos de idade.

5.4 PROPOSTA METODOLÓGICA DE ACOMPANHAMENTO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADA DE EDIFÍCIO

Os estudos de previsão da vida útil mínima das fachadas com revestimento cerâmico a partir do Fator Geral de Danos (FGD) conduziram a resultados pontuais limitados à vida útil mínima estabelecida pela ABNT NBR 15575:2013. Contudo, como proposta desta pesquisa, as análises são ampliadas para o acompanhamento da evolução da degradação das fachadas. Neste sentido, partindo dos resultados apresentados na Figura 5.29, obteve-se a equação da curva de degradação do FGD-Total (Equação 5.1).

$$\text{FGD - Total} = 0,00003910 \cdot (\text{Id})^2 + 0,01051050 \cdot (\text{Id}) \quad (5.1)$$

Onde:

FGD - Total – Fator Geral de Danos (%);

Id – Idade das amostras de fachadas (anos).

A Figura 5.31 mostra o resultado das curvas ampliadas para o acompanhamento da evolução da degradação acima da vida útil mínima (20 anos). As curvas apresentadas permitem que o especialista, após a inspeção, mapeamento e cálculo do FGD, possa avaliar a situação ou a condição em que se encontram as fachadas. Neste sentido, apresenta-se este modelo de curvas de degradação para estabelecer a posição em que se encontra uma determinada fachada inspecionada.



Figura 5.31 – Curvas para acompanhamento da evolução da degradação das fachadas utilizando o Fator Geral de Danos (FGD).

Para a utilização do modelo de acompanhamento da evolução da degradação das fachadas, apresenta-se uma metodologia de análise que consiste em mostrar como o especialista poderá proceder para verificar a condição da fachada a ser inspecionada. A metodologia é apresentada em forma de fluxograma das etapas (Figura 5.32).

A inspeção (Figura 5.32) considera a fase de levantamento das informações sobre o histórico do edifício, com identificação da idade, dos tipos de anomalias e da orientação da amostra. Efetua-se nesta fase o registro fotográfico da referida amostra de fachada. O mapeamento consiste na distribuição das anomalias em uma planta da fachada de maneira equivalente à observação efetuada durante a inspeção. Na sequência ao mapeamento,

sobrepe-se uma malha de 50x50cm e procede-se à contagem das anomalias por orientação da mostra de fachada (Figura 5.32).

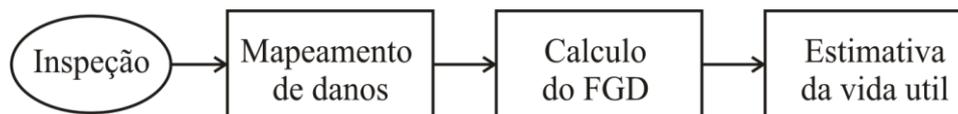


Figura 5.32 – Fluxograma da metodologia de análise da evolução da degradação e estimativa de vida útil das fachadas com revestimento cerâmico.

Procede-se ao cálculo do FGD atribuindo pesos para cada tipo de anomalia detectada. A Figura 5.33 mostra o resultado de uma aplicação prática de avaliação da degradação de fachadas em diferentes idades a partir da curva de degradação projetada para até 60 anos. Estes resultados são apresentados no gráfico da Figura 5.33 com a identificação MAP (Modelos de Análises Práticas). Considerando o critério para limite de vida útil de projeto mínima de 20 anos e $FGD_{(20anos)} = 22,6\%$, os resultados mostram que 37% das amostras de fachadas já ultrapassaram esse limite estabelecido e podem indicar uma possível situação crítica e a necessidade de medidas de manutenção corretiva. Esse resultado é coerente tendo em vista que a demanda de amostras cedidas pelo LEM-UnB eram compostas por edifícios com problemas em suas fachadas.

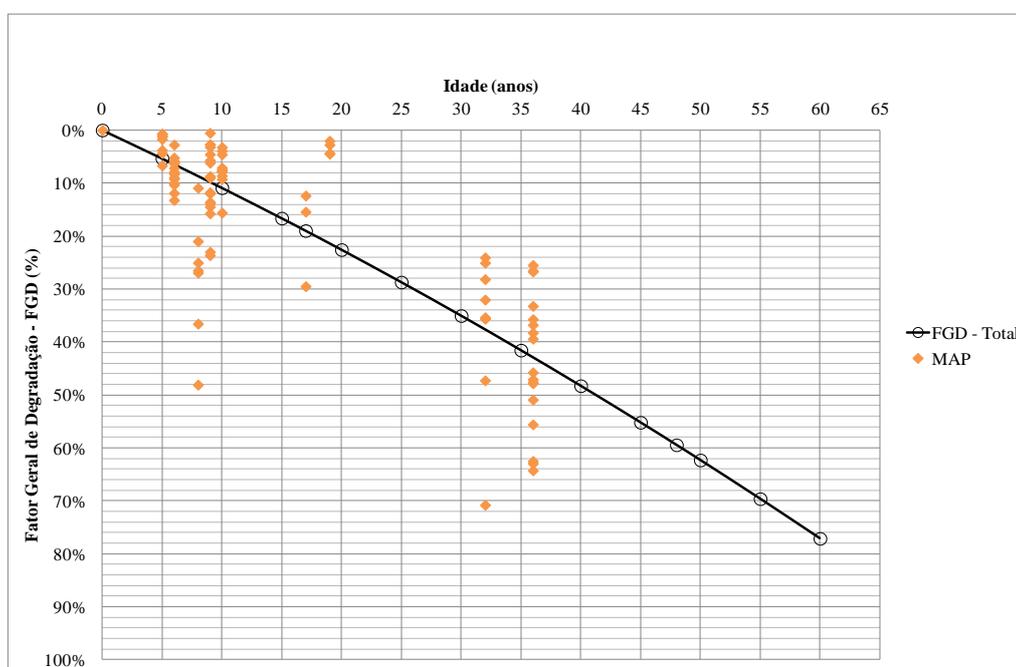


Figura 5.33 – Exemplo de utilização prática do modelo de cálculo de degradação (MAP) nas curvas para acompanhamento da evolução da degradação das fachadas utilizando o Fator Geral de Danos Total (FGD-Total).

5.4.1 Considerações sobre o Capítulo

Estabelecer um padrão de vida útil das fachadas é uma tarefa muito complexa em virtude dos fatores que envolvem o sistema. Procurou-se mostrar uma ferramenta de análise que permitisse observar a evolução das degradações nas fachadas. Os resultados foram condensados para expressar as informações pertinentes ao entendimento das fases de vida das fachadas em modelos gráficos.

O modelo proposto busca apresentar uma orientação prática no que concerne à estimativa da vida útil de fachadas. Para tanto se mostra uma forma prática de utilização da curva para estimativa da vida útil de fachadas de edifícios com idades entre 0 a 60 anos.

Os resultados mostraram a aplicabilidade da curva de referência para análise de vida útil das fachadas. Esta curva estabelece um limite (critério) do estado de degradação das fachadas.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A avaliação da vida útil das fachadas vem mobilizando pesquisadores com o objetivo de estabelecer padrões de comportamento das fachadas. Este presente estudo segue a linha de investigação de Sousa (2008) e de Taguchi (2010) sobre a patologia de edifícios.

Sousa (2008) apresentou os resultados de sua avaliação referente ao desempenho das fachadas com revestimento cerâmico situadas em Portugal. Sousa (2008) estabeleceu uma proposta de quantificação da degradação em fachadas a partir da adaptação do modelo estudado anteriormente por Gaspar e Brito (2007) para fachadas rebocadas.

Taguchi (2010), por sua vez, para avaliar a performance de vedações verticais de edifícios situados em Curitiba-PR, fez uma adaptação do método fatorial apresentado no FIB (1998). Os resultados obtidos por Taguchi (2010) mostraram eficiência na adaptação do método para o estudo de caso analisado.

O estudo da degradação em fachadas envolve um conjunto de fatores muito diversificados. Utilizar muitas variáveis em torno da formulação de um problema pode dificultar tanto a formulação como a interpretação dos resultados. Torna-se importante estabelecer uma linha de investigação para que permita associar fatores de influência da degradação que conduzam a uma resposta eficiente do problema, ou seja, da degradação e vida útil das fachadas. No presente estudo foi proposto duas linhas de análise da degradação e vida útil:

- ✓ Análise quantitativa dos fatores de danos no processo de degradação e;
- ✓ Análise de vida útil das fachadas com revestimento cerâmico.

6.1 CONCLUSÕES DA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FATORES DE DANOS NO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

A análise quantitativa dos fatores de danos mostrou um panorama geral do fenômeno de degradação nas fachadas sob um enfoque em torno da extensão do dano representado pelo modelo de análise do Fator de Danos (FD). Este modelo de cálculo estabelece um meio de análise de danos que mostra a variação da ocorrência do dano em função da área da

amostra. As análises foram realizadas com vista a esclarecer dúvidas no que diz respeito à degradação das fachadas em determinado período.

Os resultados da abordagem da degradação por intermédio dos fatores de danos mostraram que, a partir de certos fatores de influências (tipos de anomalias, condições de exposição, posição relativa, altura relativa e idade das fachadas), é possível identificar situações críticas de danos, ou seja, quando a fachada atinge o limite de vida útil.

O FD se mostrou eficiente para representar o comportamento da degradação nas fachadas em diferentes idades. Os fatores de influência admitidos nas análises permitiram estabelecer que o descolamento cerâmico é a patologia mais importante na origem e evolução da degradação das fachadas. Essa patologia também se mostra evidente em estudos de Antunes (2010) e Bauer *et al* (2010). Esta patologia está associada à influência de outros tipos de patologias, como as falhas de rejunte e fissuras que podem atuar de forma sinérgica e contribuir para valores elevados de fatores de danos de descolamento cerâmico.

O FD também permitiu avaliar a evolução da degradação em função da idade, da orientação das fachadas, da altura da fachada do edifício e ainda em função das regiões da fachada em que as patologias são observadas. O fator tempo e as condições de exposição aceleram o processo de degradação principalmente em fachadas com idade acima de 10 anos, sendo mais evidente em idades superiores a 30 anos.

A análise de tendências mostrou que as orientações Oeste e Norte são mais degradados que as orientações Leste e Sul. A análise de variância não apresentou diferença significativa entre os resultados. Essa diferença nas análises se mostrou mais evidente em virtude da elevada dispersão da amostra, conforme mostra a Figura 5.14.

Conforme observam Sousa (2008) e Gaspar (2009), levantamentos de campo, em geral, apresentam elevada dispersão. Nestes casos, comportamentos nitidamente observados e tendências claras não se observam como significativas na análise de variância. Neste sentido, a análise de tendências se torna extremamente importante para a análise da influência das variáveis (fatores). Contudo, não se deve adotar isoladamente um tipo de análise, deve-se combinar a análise de tendências com a análise de variância.

A influência da altura da fachada não se mostrou significativa para as amostras consideradas neste estudo. As amostras apresentaram valores evolutivos em função da idade para esta análise, porém sem grande definição na questão da altura ou do andar das fachadas. Os resultados mostraram que, a partir de uma análise de tendências, o primeiro andar das fachadas apresentou as maiores ocorrências de FD, porém os valores não foram contundentes, ou seja, mostram apenas uma tendência dos resultados. A movimentação estrutural provocada pela configuração dos edifícios de Brasília (Figura 4.11 – Capítulo 4) se mostra como uma das causas de ocorrências de degradação e do elevado FD no primeiro andar.

As análises dos FD das regiões se mostraram adequadas. As regiões da fachada que apresentaram maior degradação foram as juntas entre pavimentos e a transição entre pavimentos. A análise estatística mostrou não haver diferença significativa entre a junta entre pavimentos e a transição entre pavimentos, ou seja, ambas as regiões são consideradas críticas e susceptíveis ao surgimento de patologias. Essas regiões são consideradas críticas por estarem localizadas na interface da alvenaria com as vigas da estrutura. Nessa interface as deformações estruturais do edifício geram tensões na alvenaria que podem se propagar e causar falhas nessa região da fachada. Ao ser solicitado acima de sua capacidade de suporte, o sistema de revestimento entra em colapso, surgindo fissuras e descolamento cerâmico.

A elevada degradação nestas duas regiões pode ainda ser atribuída à ausência de juntas de dilatação horizontal que permitam a dissipação das deformações provocadas pela movimentação diferenciada do sistema. Os resultados evidenciam a importância da execução de juntas horizontais em fachadas com revestimento cerâmico.

6.2 CONCLUSÕES DA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DAS FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Os resultados das análises mostraram que os modelos propostos para avaliação da degradação e vida útil podem ser utilizados como ferramenta para esta finalidade.

Os resultados das análises dos modelos propostos para avaliação da degradação e vida útil mostraram ser possível estabelecer um padrão de comportamento da evolução dos danos a

partir dos três modelos avaliados (Fator Geral de Danos-FGD, Fator de Danos Combinado-FDC e Método Fatorial de Danos (MFD)).

Observa-se em todos os modelos (FGD, FDC e MFD) que, nas primeiras idades, as amostras de fachadas apresentam valores bastante dispersos, em particular às amostras com idade de 8 anos, os resultados foram, também, muito elevados. Degradações em idades precoces em geral estão associadas a fatores funcionais do edifício, como falha de projeto ou execução.

O FGD apresentou um comportamento de degradação bastante diferenciado quando analisado em função das orientações das fachadas. Os resultados mostraram duas faixas definidas: uma nas orientações Oeste e Norte e outra nas orientações Leste e Sul. Esse modelo representou de forma eficiente degradações mais elevadas nas orientações Oeste e Norte. Ressalta-se que estes resultados são válidos somente para a amostra considerada neste estudo. Para outras cidades ou mesmo outros países, os resultados podem variar, principalmente para cidades localizadas acima da linha do Equador, por suas características climatológicas bastante diferenciadas em relação à amostra utilizada neste estudo.

Observou-se uma similaridade nos resultados obtidos para o FGD e FDC. Esses dois modelos se diferenciam na atribuição de importância de cada tipo de dano no processo de degradação. Os resultados apresentaram uma variação muito pequena. Não se observou diferença relevante em função da ponderação diferenciada entre o FGD e o FDC.

Os resultados obtidos a partir do MFD apresentaram um comportamento semelhante aos modelos FGD e FDC, contudo, a evolução dos danos a partir das amostras de 10 anos segue um comportamento mais acelerado.

De maneira geral os três modelos de análise do acompanhamento da degradação nas fachadas poderiam ser utilizados em uma análise de estimativa de vida útil de fachadas de edifícios de Brasília. Como a proposta deste estudo consiste em quantificar e estabelecer um modelo padrão que permita avaliar o estado de degradação de fachadas com revestimento cerâmico, estabelece-se o FGD como modelo padrão de cálculo a ser sistematizado para promover análises de degradação e vida útil de fachadas com até 60 anos de idade. A opção pelo FGD se deve ao fato desse modelo considerar maior quantidade de fatores intervenientes na análise da degradação.

Os modelos de análise buscaram avaliar diferenças relacionadas à forma de interpretação dos fatores de influência de idade e orientação da fachada. Os resultados para os três modelos de análise (FGD, FDC e MFD) evidenciaram o comportamento acelerado de degradação em fachadas com idades superiores a 10 anos. A taxa de velocidade de degradação obtida em função da idade se torna inclusive mais evidentes quando se separa as amostras em função da orientação das fachadas. Interessa observar que as curvas de degradação analisadas em função da idade caracterizaram dois processos distintos de degradação: dois níveis superiores (Oeste-Norte) e dois níveis inferiores (Leste-Sul).

Destaca-se que as fachadas, assim como todos os elementos que compõem o sistema de revestimento externo apresentam comportamentos funcionais diferenciados e vida útil de projeto também diferenciada. A ABNT NBR 15575-1:2013 estabelece para as paredes de vedação externa vida útil de projeto mínima igual ou superior a 40 anos. Para o revestimento de fachada a vida útil de projeto mínima passa a ser igual ou superior a 20 anos (Tabela 2.2, Capítulo 2). Essa complexidade no comportamento do sistema como um todo torna as fachadas elementos susceptíveis de avaliações periódicas para verificar sua estabilidade estética, física e funcional.

O modelo analisado para a estimativa da vida útil mínima (Figura 5.25) mostrou ser possível estabelecer a situação do estágio de degradação das fachadas e ainda a indicação da necessidade de possível intervenção para serviços de reabilitação. Com base em uma vida útil de projeto mínima de 20 anos (ABNT NBR 15575-1:2013), obtém-se o valor de FGD-Total (22,6%) associado ao valor crítico de degradação para fachadas com 20 anos de idade. Sendo assim, o modelo estabelece um limite aceitável de degradação para fachadas com revestimento cerâmico situadas em Brasília-DF. Ressalta-se que este modelo de curva de estimativa de vida útil mínima pode servir como referência, contudo, como cada localidade apresenta características diferenciadas (mecanismos e agentes de degradação), esta curva deverá ser adaptada para cada caso particular.

Os modelos analisados neste presente estudo foram abordados buscando apresentar de forma prática uma compreensão do comportamento evolutivo da degradação e como as fachadas são afetadas em cada período de idade. Facilita uma análise crítica do estado dessas fachadas e estabelece limites de situação da degradação. Mostraram-se, portanto, eficientes na avaliação da degradação e estimativa de vida útil das fachadas com revestimento cerâmico.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este presente estudo foi desenvolvido com base em diversos questionamentos sobre fenômeno da degradação, sua evolução e como podem afetar a vida útil das fachadas de edifícios de Brasília-DF. Ainda existem muitos questionamentos sobre o assunto, sendo necessária a continuação da pesquisa. Sugere-se, portanto alguns temas para estudos futuros:

- Sistematizar o mapeamento de danos através de malhas com dimensões variadas para verificar o limite mínimo a ser utilizado para a contagem de danos;
- Aumentar o número de amostras diversificando a tipologia e a idade dos edifícios;
- Estabelecer um procedimento de inspeção científico com vistas a estabelecer parâmetros direcionados para uma futura quantificação por intermédio dos modelos propostos (FD, FGD, FDC e MFD);
- Estabelecer novos modelos de cálculo de degradação;
- Implementar uma análise estatística a partir do aumento da amostragem;
- Expandir as análises quantitativas de degradação e vida útil para outras localidades do Brasil;
- Verificar influência das aberturas e elementos decorativos no processo de degradação;
- Efetuar análises de quantificação de danos para edifícios altos;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. D. Metodologia de Controle de Qualidade de Revestimentos Argamassados em Paredes. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Brasília, 1994, 185p.

ALVES, S. M. A. WWW.PATORREB.COM - Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edifícios. Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 13531: Elaboração de projetos de edificações – atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações – arquitetura. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, 2011.

- _____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2005.
- _____. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15575-4: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM – E 632-82: *Standard Practice for Developing Accelerated Tests to aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials*, Philadelphia, 1996.
- ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 2010, 166 p.
- BARBOSA, A. S. Estudo numérico-computacional e analítico do choque térmico em fachadas de edificações. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013, 275 p.
- BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas, 2001.
- BAUER, E. Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos – Uma Análise de Desempenho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987, 168p.
- BAUER, E. (Editor) Revestimento de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM- UnB; SINDUSCON, 2005, 92p.
- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico: n.º 06090072-c. Laboratório de Ensaios de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2006b.

- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico: n.º 06110140-b.
Laboratório de Ensaios de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2006c.
- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico: n.º 06050020-a.
Laboratório de Ensaios de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2006d.
- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico:n.º 07050058-b.
Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2007a.
- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico:n.º 0705125-b.
Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2007b.
- BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico:n.º 07020058-b.
Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2007c.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; LEAL, F. E.; JOFFILY, I. Relatório técnico:n.º 08090018-c.
Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K. Relatório técnico:n.º 09030001-b. Brasília, Laboratório de
Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; LEAL, F. E.; JOFFILY, I. Relatório técnico:n.º 09070253-b.
Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; LEAL, F. E.; ALIVERT, M. Relatório técnico:n.º
10090300-c. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília,
Brasília, 2010.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. R. E LEAL, F. E. *Identification and
Quantification of Pathologies in Facades of New Buildings in Brasília*, XII DBMC
International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto,
Portugal, 2011.

- BAUER, E.; KRAUS, E. e ANTUNES, G. R. Patologias mais correntes nas fachadas de edifícios em Brasília, 3º. Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2010.
- BAUER, E.; KRAUS, E. e ANTUNES, G. R. Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico, IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.
- BAUER, E.; KRAUS, E. e SILVA, M. N. B. Patologia e deterioração das fachadas de edifícios em Brasília – estudo da quantificação de danos, PATORREB, *4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios*, Santiago de Compostela, Espanha, 2012.
- BAUER, R. J. F. Falhas em revestimentos: suas causas e sua prevenção. Centro Tecnológico Falcão Bauer, 1996.
- 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, Portugal, 2010, n.16, pp. 55-69.
- BORDALO, R.; BRITO, J.; GASPAR, P. L ; SILVA, A. *Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems*, *Building Research & Information*, 39, 1, 2011, 66-78.
- BIRCH, J. S. *Using 3DM Analyst Mine Mapping Suite for rock face characterization. Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization*. Editores F. Tonon and J. Kottenstette, 2006.
- BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D. Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Anais... São Paulo, ENTAC 2004, 1 CD-ROM. p. 18-21.

- BRANCO, F. Concepção dos edifícios com durabilidade. Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.
- BRANCO, L. A. M. N.; CARVALHO JÚNIOR, A. N., COSTA, A. G. A Concepção de Projetos de Revestimentos em Empresas de Construção Civil, APFAC, 2007.
- CAMPANTE, E. F. Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001, 408 p.
- CARASEK, H. Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996, 285p.
- CARASEK, H. Patologia das argamassas de revestimento. Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON, São Paulo, v. 1, 2007, p. 1-11.
- CASTRO, E. K; BAUER, E; BEZERRA, N. M. Relatório técnico:n.º 06100067-b. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2006a.
- CHEW, M. Y. L.; SILVA, N. *Factorial method for performance assessment of building façades. Journal of Construction Engineering and Management*, 130, 2004, 525-533.
- CINCOTTO, M. A; SILVA, M. A. C. e CARASEK, H. Argamassas de Revestimento: Características, Propriedades e Métodos de Ensaio. Boletim 68 – IPT, São Paulo, 1995.
- CONSOLI, O. J. Análise da durabilidade dos componentes de fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 208 p.

- CROLL, S.; HINDERLITER, B. *Using the statistics of random processes to predict the deterioration in end-use properties of polymeric coatings*. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto, Portugal, 2011.
- DAL MOLIN, D. C. C. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- DANIOTTI, B. e CECCONI, F. R. CIB W080 *Prediction of Service Life of Building Component and materials. Accelerated Laboratory Test Procedures and Correlation Between Laboratory Tests and Service Life Data*, Milão, Itália, (2010).
- DAS CHAGAS, S. V. M. Estudo e Proposta de um Modelo de Resistência à Fadiga de Argamassas de Revestimento em Estado Plano e Tridimensional de Tensões. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2009, 173 p.
- DONCA, G. ; MIHĂILĂ, I.; GANEA, M.; HIRLE, D.; NICA, M. *Maintenance role in life cycle management. Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering*, v. 6, 2007, pp. 2158-2163.
- FERREIRA, P. C. Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UnB. Brasília, 1965, 103 p.
- FIB. *Strategies for testing and assessment of concrete structure*. CEB Bulletin, n.243, 1998.
- FIORITO, A. J. S. L. Manual de argamassa e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. PINI, São Paulo, 1994.
- FLORES, I. Estratégias de manutenção - elementos da envolvente de edifícios correntes. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

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

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. A influência de alguns parâmetros na fiabilidade de estratégias de manutenção. 3º Encore - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de edifícios, LNEC, Lisboa, 2003, pp. 1017-1026.

FREITAS, A. S. S. L. A. Avaliação do Comportamento Higrotérmico de Revestimentos Exteriores de Fachadas devido à Acção da Chuva Incidente. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

GASPAR, P. Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Dissertação de Doutoramento em Construção, IST, 2009.

GASPAR, P. L.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas. In: PATORREB. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, UPC, Porto, Portugal, 2006.

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

GASPAR, P.; BRITO, J.. *Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators*. Journal of Building and Environment ,43(11), 2007, pp. 1818-1828

GASPAR, P.; BRITO, J. *Mapping Defect Sensitivity in External Mortar Renders*. In: *Journal of Construction and Building Materials*, v. 19(8), 2005, p. 571-578.

GASPAR, P. Vida útil das construções: Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de

- edifícios correntes. Dissertação de Doutorado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- GASPAR, P.; BRITO, J. *Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. Building and Environment*, v. 43, n. 11, 2008, p. 1818-28.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas. APFAC, 2010.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *The perception of damage on rendered façades. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Porto, Portugal. 2011.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. *Limit states and service life of cement renders on facades, Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 23, n. 10, 2011, pp. 1396-1404.
- GIONGO, M. Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007, 107p.
- GIONGO, M.; PADARATZ, I. J.; LAMBERTS, R. Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semi-empíricos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 1, 2011, p. 7-23.
- GUIMARÃES, L. E. Avaliação comparativa de grau de deterioração de edificações – Estudo de caso: prédios pertencentes à Universidade Federal de Goiás. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003, 186 p.
- GUIMARÃES, L. E.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Proposta de Metodologia para Avaliação Comparativa do Grau de Deterioração em Edificações. In: *Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción, VII., Congreso de Control de Calidad en la Construcción, IX*. Anais. Mérida, Yucatán. México, 2003. v.2. p. 9-16.
- GOLDBERG, R. P. *Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades. Technical Design Manual*. LATICRETE International, Inc. USA. 1998.

- HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed., PINI, São Paulo, 1992.
- HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. Probabilidade e Estatística na Engenharia. 4 ed., LTC, Rio de Janeiro, 2006, p. 331.
- HOVDE, P. – “*Factor methods for service life prediction*”, CIB W080 / RILEM 175 – SLM (*Service Life Methodologies*) TG, *Performance based methods of service life prediction*”, Zürich, 2002, 51p.
- HOVDE, P. *Factor methods for service life prediction*. CIB W080/RILEM 175 SLM: *Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components, Task Group: Performance Based Methods of Service Life Prediction*, Trondheim, Norway, 2004, 51 p.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>>. Acesso em: 16 de novembro de 2013.
- IOSHIMOTO, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT, 1988, p. 545-548.
- ISO/DIS 15686-1 - *Buildings and constructed assets -- Service life planning-- Part 1: General principles and framework*. Switzerland, International Organization for Standardization, 2011.
- ISO/DIS 15686-2 - *Buildings - Service life planning - Part 2: general principles*. Switzerland, International Organization for Standardization, 2012.
- ISO/DIS 15686-3 - *Buildings and constructed assets -- Service life planning-- Part 3: Performance audits and reviews*. Switzerland, International Organization for Standardization, 2002.

ISO/DIS 15686-4 - *Construção Civil - Life Serviço Planning-- Parte 4: Serviço de Planejamento de Vida usando Building Information Modeling. Switzerland, International Organization for Standardization, 2014.*

ISO/DIS 15686-5 - *Buildings and constructed assets -- Service-life planning-- Part 5: Life-cycle costing. Switzerland, 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. Switzerland, International Organization for Standardization, 2006.*

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

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

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. In: Coletânea Habitar - Construção e Meio Ambiente, ANTAC, Porto Alegre, v. 7, 2006, p. 20-57.

JOHN, V.M.; SJÖSTRÖM, C.; AGOPYAN, V. *Durability in the built environment and sustainability in developing countries*, 9DBMC, 2002, 7 p.

JUST, A e FRANCO, L. S. Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/285, São Paulo, 2001, 25 p.

- LACASSE, M. A.; SJÖSTRÖM, C. *Methods for service life prediction of building materials and components – recent activities of the CIB W80/RILEM 175-SLM*, Milan, Italy, 2003, pp 1-11.
- LACASSE, M. A.; SJÖSTRÖM, C. *Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components – an overview*, Toronto, Ontario, 2004, pp 1-10
- LAYZELL, J.; LEDBETTER, S. - *FMEA applied to cladding systems - Reducing the risk of failure. Building Research and Information*, vl. 26, 1998
- LICHTENSTEIN, N. B. *Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação*, Boletim Técnico: BT/PCC/06. São Paulo, EPUSP, 1985, 29 p.
- LOPES, B. A. R. *Patologia de Estruturas. Curso de Extensão – Patologia e Perícia de Estruturas de Concreto. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil*, Universidade de Brasília e Instituto de Engenharia de Avaliação e Perícia, 2005.
- LUZ, M. A. *Manifestações Patológicas Em Revestimentos Cerâmicos de Fachada em Três Estudos de Caso na Cidade de Balneário Camboriú. Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- MANSUR, A. A. P. *Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento. Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L.; MANSUR, H. S. *Data Collection of five years of exterior facade pathologies in Brazil*. In: *XIII World Congress on ceramic tile quality - QUALICER*. Castellón, Espanha, 2006, p.109-124.
- MATOS, V. C. M; LIMA, M. G. *Manual para Avaliação de Fachadas – Importância da Avaliação dos Fatores Ambientais de Degradação. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído*, ENTAC, Florianópolis, SC, 2006.

- MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: EPUSP, 1999, 28p.
- MELO JÚNIOR, C. M. Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2010, 204f.
- MOSER, K. *Engineering Design Methods for Service Life Prediction*, Report from TG, Performance Based Methods of Service Life Prediction, CIB W80 / RILEM 175 – Service Life Methodologies, Zurique, Suíça, 2002, 30 p.
- MOSER, K. – “*Engineering design methods for service life prediction*”, CIB W080 / RILEM 175 – SLM (Service Life Methodologies). Performance based methods of service life prediction, Report, Norway, 2004, 49p.
- NIKZAD; KARI; TAHMASEBI. *The Application of Thermal Imaging as a Nondestructive Test in Historic Buildings*. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto, Portugal. 2011.
- PAES, I. N. L; CARASEK, H. Desempenho de argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, Porto Alegre, v.2, 2002, p 93-103.
- PAULO, P. V.; BRANCO, F.A.; BRITO, J. *Quantification of Façade Defects Using Photogrammetry within the BuildingsLife System*, 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turquia, 2008.
- PAULO, P. V.; BRANCO, F.A.; BRITO, J. *Deterministic and stochastic prediction models for the buildings life platform*. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto, Portugal. 2011.
- PEDRO, E.; MAIA, L.; ROCHA, M.; CHAVES, M. Patologia em revestimento cerâmico de fachada. Pós-graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias, FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2002.

- PEREIRA, C. H. A. F. Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007, 195p.
- PEREZ, A. R. Umidade nas edificações. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1986.
- POYASTRO, P. C. Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- SABBATINI, F. H. Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas. In: Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, Campinas, Anais... 13º SIMPATCON, 1990.
- SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001, 31 p.
- SARAIVA, A. G. Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 1998, 164 p.
- SHOHET, I. M.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. *Deterioration patterns for maintenance management – a methodological approach. Durability of Building Materials and Components. Institute for Research in Construction, Ottawa, Canada, 1999, pp. 1666-1678.*
- SILVA, A. F. Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: estudo de caso em edifícios em Florianópolis. Florianópolis, 2007, 190 p.
- SILVA, A. F. F. S. Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Porto, Portugal, 2009.

- SILVA, A; GASPAR P. L.; BRITO, J. Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades, XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC, São Paulo, Brasil, 2014.
- SILVA, M. N. B. Avaliação Numérica com o Método dos Elementos Finitos das Tensões Termo Mecânicas em Sistemas de Revestimento de Fachadas, Dissertação de Mestrado, da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2000, 197 p.
- SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. e ZANONI, V. A. G. Distribuição de ocorrência de danos e patologias em fachadas de Brasília – estudo de caso, I Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, Argamassa 2014, Coimbra, Portugal, 2014.
- SILVESTRE, J. Sistema de Apoio à Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2005.
- SILVESTRE, J; BRITO, J. Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes, Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal, 2008. Disponível em:<<http://www.civil.uminho.pt/revista/n30/Pag%2068.pdf>> Acesso em: 20 de junho de 2009.
- SILVESTRE, J.D.; BRITO, J. Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. Construction and Building Materials 25, 2011, 1560–1571.
- SOUSA, R. D. B. Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2008.
- SOUZA, R. H. F.; ALMEIDA, I. R. O projeto da UFF para avaliar o desempenho de revestimentos de fachadas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I

Internacional Symposium on Mortars Technology, Florianópolis. Anais..., 2005, CD-ROM.

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

TAKATA, S.; KIMURA, F.; VAN HOUTEN, F.; WESTKÄMPER, E.; SHPITALNI, M.; CEGLAREK, D. *Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management*, CIRP annuals, 53(2), 2004, pp. 643-655.

TAN, K.; CHAN, B.; GUAN, L. *Ultrasonic evaluation of cement adhesion in wall tiles. Cement & Concrete Composites*, 1996.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. 1 ed. São Paulo: PINI/EPUSP/IPT, 1989.

UCHÔA, J. C. B. Procedimento numérico e experimental para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007, 159 p.

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. Chuva dirigida: um estudo da ISO 15927-3 no contexto brasileiro. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2014, Maceió, 2014, 10p.

APÊNDICE A

A.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS

Nesta seção, apresenta-se o procedimento de identificação e caracterização das amostras de fachadas feita por intermédio de fichas de inspeção.

A.1.1 Ficha de edifícios vistoriados

Na etapa dos levantamentos são realizadas a identificação e a caracterização dos edifícios e de cada fachada em função de sua orientação cardinal. O modelo da ficha de inspeção é apresentado para a amostra ER-001. As demais amostras seguem este mesmo padrão de identificação, ressaltando as características peculiares de cada amostra.

FICHA DE INSPEÇÃO	
Inspeção N°: ER-001	
Data da inspeção: Agosto de 2006	
Identificação: EDIFÍCIO VILA VERDE	
Tipo do imóvel: Residencial de uso coletivo	
Endereço: SQN 402 – Bloco C	
Bairro: Asa norte (Área 01)	
Ano conclusão: 2000	
Idade: 6 anos	
Observação:	

Dados do edifício		
Área de fachada (m ²): 2.179,77	Áreas cegas (m ²):	Área de sacadas (m ²): 858,38
Área de esquadrias (m ²):	Área de revestimento (m ²):	

Características da fachada 1 da amostra ER-001	
Orientação: <input checked="" type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O	
Tipo de fachada: <input type="checkbox"/> Prumada <input checked="" type="checkbox"/> Empena <input type="checkbox"/> Empena cega <input type="checkbox"/> Caixa de escada	
Posição da fachada: <input type="checkbox"/> Frontal <input checked="" type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Posterior	
Área de fachada (m ²): 167,88	
Área de sacadas (m ²): 91,88	
Área caixa de escada (m ²):	

Características da fachada 2 da amostra ER-001	
Orientação: <input type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O	
Tipo de fachada: <input checked="" type="checkbox"/> Prumada <input type="checkbox"/> Empena <input type="checkbox"/> Empena cega <input type="checkbox"/> Caixa de escada	
Posição da fachada: <input checked="" type="checkbox"/> Frontal <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Posterior	
Área de fachada (m ²): 916,76	
Área de sacadas (m ²): 336,00	
Área caixa de escada (m ²):	

Características da fachada 3 da amostra ER-001	
Orientação: <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> L <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O	
Tipo de fachada: <input type="checkbox"/> Prumada <input checked="" type="checkbox"/> Empena <input type="checkbox"/> Empena cega <input type="checkbox"/> Caixa de escada	
Posição da fachada: <input type="checkbox"/> Frontal <input checked="" type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Posterior	
Área de fachada (m ²): 167,88	
Área de sacadas (m ²): 91,88	
Área caixa de escada (m ²):	

Características da fachada 4 da amostra ER-001	
Orientação: <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> O	
Tipo de fachada: <input checked="" type="checkbox"/> Prumada <input type="checkbox"/> Empena <input type="checkbox"/> Empena cega <input type="checkbox"/> Caixa de escada	
Posição da fachada: <input type="checkbox"/> Frontal <input type="checkbox"/> Lateral <input checked="" type="checkbox"/> Posterior	
Área de fachada (m ²): 916,76	
Área de sacadas (m ²): 338,63	
Área caixa de escada (m ²):	

Sistema construtivo da amostra ER-001		
Tipo de estrutura: <input type="checkbox"/> Alvenaria estrutural <input checked="" type="checkbox"/> Concreto armado <input type="checkbox"/> Outro		
Juntas: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Quantidade: 3	Tipo de junta: estrutural
Quant. de pavimentos: 3	Pilotis: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	

Material de revestimento da fachada da amostra ER-001	
Dimensões do revestimento cerâmico (cm): 10x10	
Cor: cinza, branca e verde	Acabam.: <input checked="" type="checkbox"/> Liso <input type="checkbox"/> Fosco <input type="checkbox"/> Esmaltado
Substrato: bloco cerâmico	Base: argamassa
Interface base/placas cerâmicas: argamassa colante	

Projeto da amostra ER-001	
Proteção de zonas periféricas: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	Proteção de cantos salientes: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
Juntas de movimentação: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Local: transição entre pavimentos
Projeto de revestimento: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	

APÊNDICE B

B.1 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FACHADAS

Nesta seção se apresenta a classificação das amostras em função da idade e orientação das fachadas.

Tabela B.1 – Identificação das amostras de fachadas de edifícios com revestimento cerâmico.

Ident.	Orientação	Idade (Anos)	Ident.	Orientação	Idade (Anos)
ER-005	N	5	ER-012	O	9
ER-007	N	5	ER-012	O	9
ER-005	L	5	ER-012	O	9
ER-007	L	5	ER-011	N	10
ER-005	S	5	ER-011	N	10
ER-007	S	5	ER-011	N	10
ER-005	O	5	ER-011	N	10
ER-007	O	5	ER-011	L	10
ER-001	N	6	ER-011	S	10
ER-002	N	6	ER-011	S	10
ER-001	L	6	ER-011	S	10
ER-001	L	6	ER-011	S	10
ER-001	L	6	ER-011	O	10
ER-001	L	6	ER-006	N	17
ER-001	L	6	ER-006	N	17
ER-002	L	6	ER-006	N	17
ER-001	S	6	ER-004	N	19
ER-002	S	6	ER-004	L	19
ER-001	O	6	ER-004	S	19
ER-001	O	6	ER-004	O	19
ER-001	O	6	ER-010	N	32
ER-001	O	6	ER-010	N	32
ER-001	O	6	ER-010	N	32
ER-002	O	6	ER-010	L	32
ER-008	N	8	ER-010	S	32
ER-008	N	8	ER-010	S	32
ER-008	N	8	ER-010	S	32
ER-008	L	8	ER-010	O	32
ER-008	S	8	ER-009	N	36
ER-008	S	8	ER-009	N	36

ER-008	O	8
ER-003	N	9
ER-003	L	9
ER-012	L	9
ER-012	L	9
ER-012	L	9
ER-003	S	9
ER-012	S	9
ER-003	O	9

ER-009	N	36
ER-009	L	36
ER-009	L	36
ER-009	S	36
ER-009	O	36
ER-009	O	36

APÊNDICE C

C.1 MODELOS DE SOBREPOSIÇÃO DE MALHA EM MAPEAMENTO

Nas figuras C-1, C-2 e C-3 são apresentados três amostras com sobreposição de malha sobre o mapeamento.

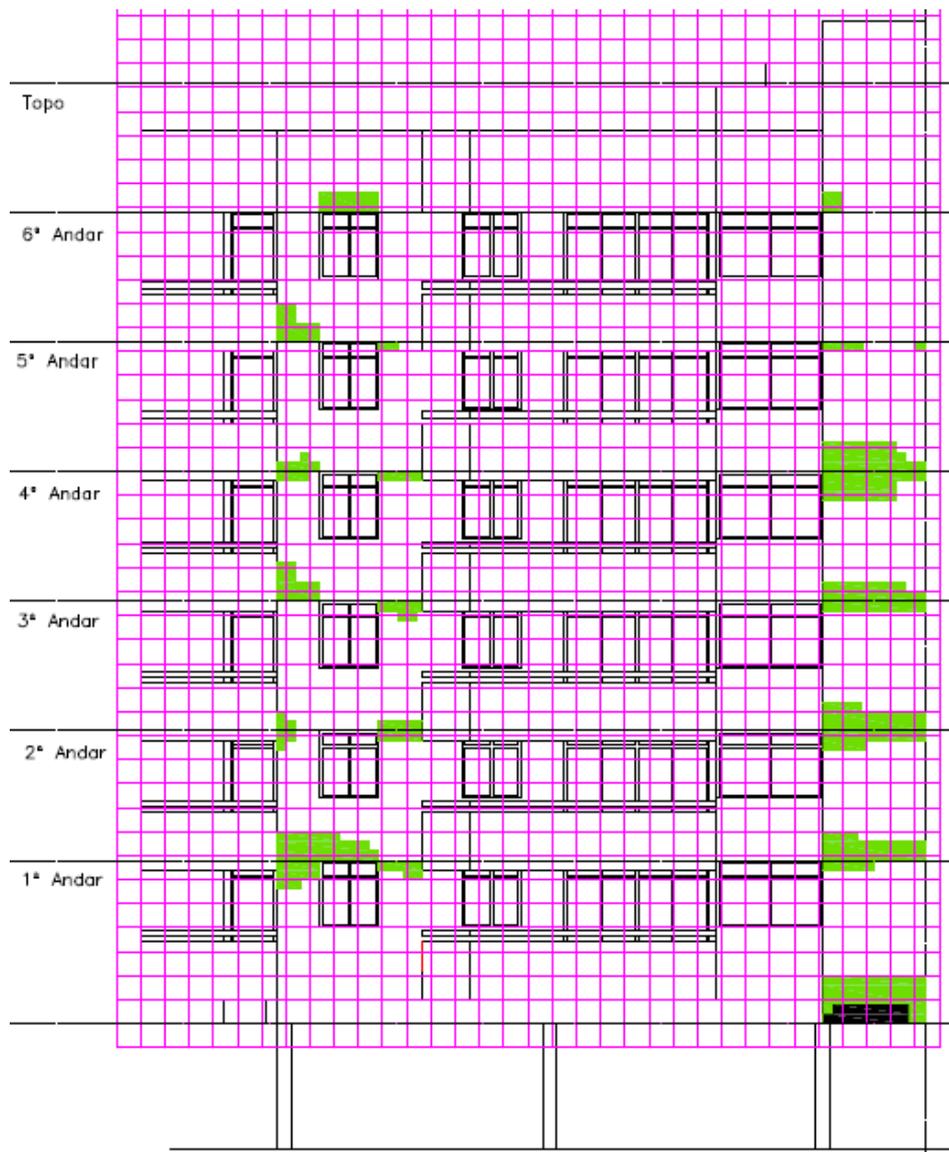


Figura C-1 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra ER-003 (Prumada 1A – Sul).

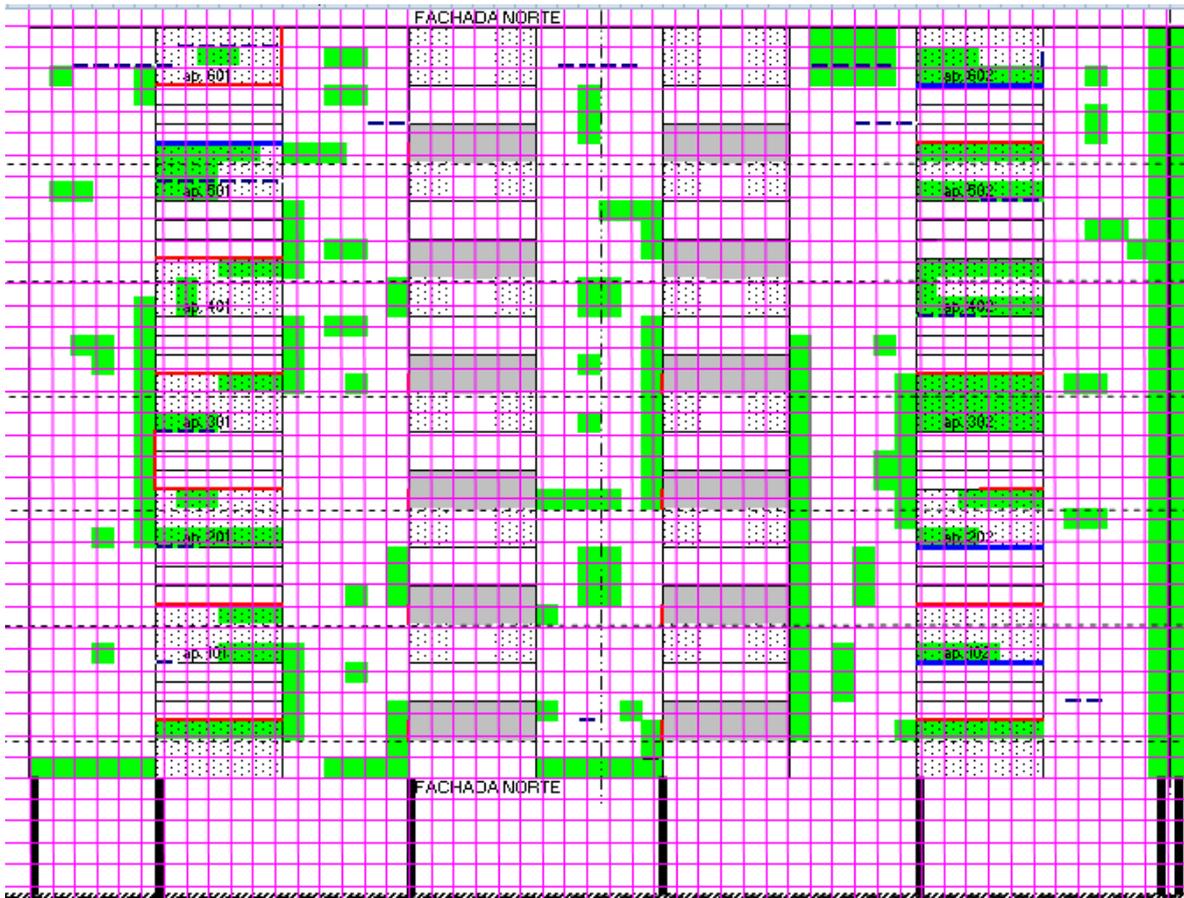
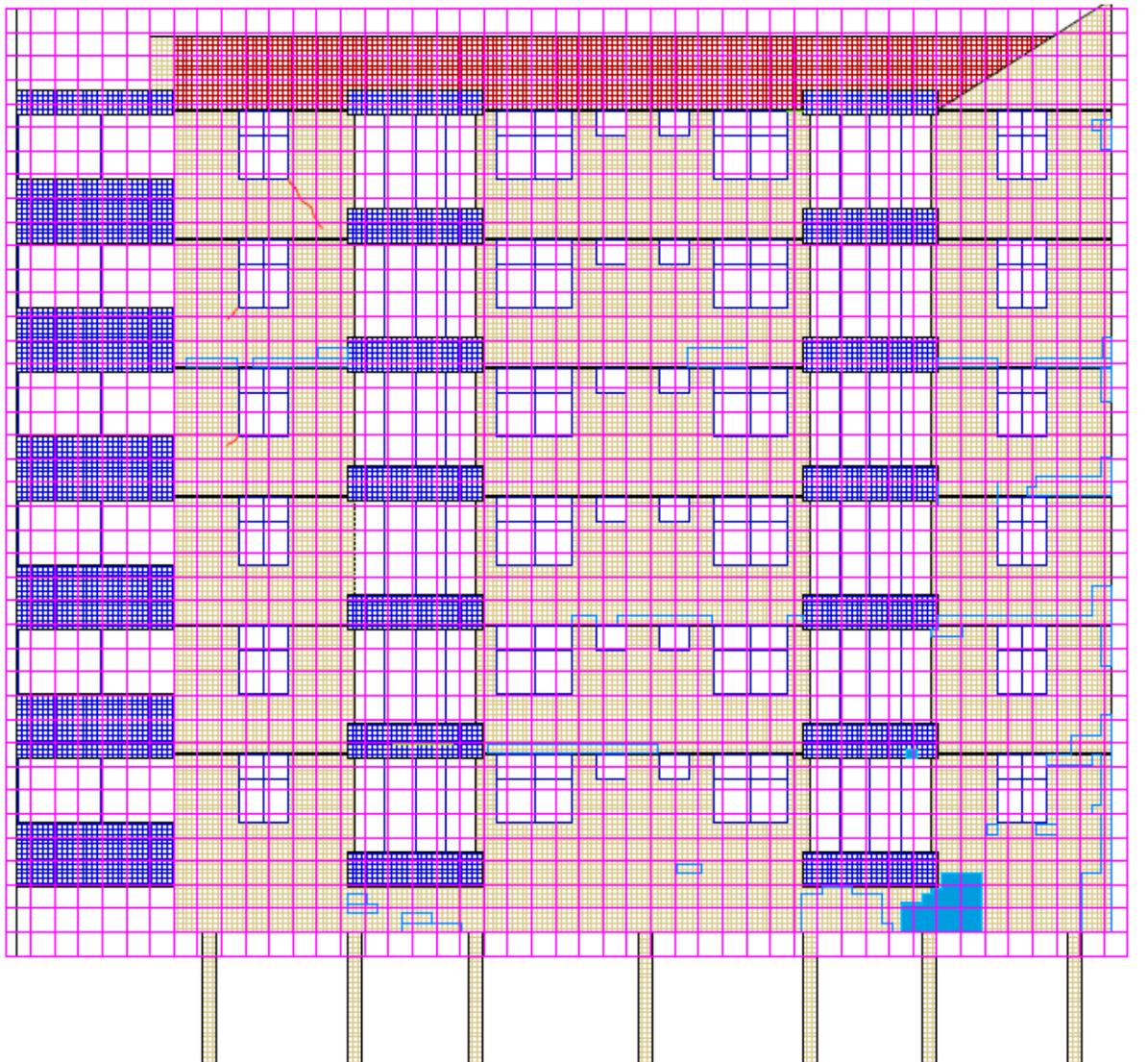


Figura C-2 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra ER-010 (Prumada 1A – Norte).



Prumada 1A

Figura C-3 – Sobreposição de malha em mapeamento da amostra ER-011 (Prumada 1A – Norte).

APÊNDICE D

D.1 PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO

Apresenta-se um modelo de composição de custo para o serviço de recuperação de revestimento cerâmico:

Tabela D.1 – Composição de custo unitário para os serviços de recuperação de revestimento cerâmico

Reparo de cerâmica comum em placa 20 x 20 cm, assentada com argamassa pré-fabricada de cimento colante e rejuntamento com cimento branco.					
Descrição	Un.	Clas.	Qtd/Coef.	Preço Unit.(R\$)	Preço Total(R\$)
Emboço	m ²	Serv.	1,00	29,97	29,97
Limpeza	m ²	Serv.	1,00	5,89	5,89
Retirada de revest. cerâmico	m ²	Serv.	1,00	34,8	34,8
Execução de revest. Cerâmico	m ²	Serv.	1,00	41,86	41,86
BDI (%):30,00 LS (%):120,00				Valor Total c/ Taxas (R\$/m ²):	112,52

APÊNDICE E

E.1 RESULTADOS DOS FATORES DE DANOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nesta seção se apresenta as tabelas E-1, E-2, E-3, E-4 e E-5 com os valores de Fatores de Danos em função da idade, orientação, andar, região de análise das fachadas e ainda das prumadas e empenas.

Tabela E-1 – Faixa de idade e Fator de Danos (FD) das amostras.

Ident.	Idade (Anos)	Faixa de idade (Anos)	FD (%)	Ident.	Idade (Anos)	Faixa de idade (Anos)	FD (%)
ER-005	5	0-15	1,42	ER-012	9	0-15	4,28
ER-005	5	0-15	1,48	ER-012	9	0-15	6,42
ER-005	5	0-15	5,31	ER-012	9	0-15	1,05
ER-005	5	0-15	1,45	ER-011	10	0-15	5,61
ER-007	5	0-15	7,25	ER-011	10	0-15	3,90
ER-007	5	0-15	12,11	ER-011	10	0-15	10,48
ER-007	5	0-15	11,51	ER-011	10	0-15	9,41
ER-007	5	0-15	12,71	ER-011	10	0-15	9,78
ER-001	6	0-15	5,80	ER-011	10	0-15	4,70
ER-001	6	0-15	11,05	ER-011	10	0-15	9,20
ER-001	6	0-15	6,58	ER-011	10	0-15	10,10
ER-001	6	0-15	7,87	ER-011	10	0-15	20,04
ER-001	6	0-15	10,18	ER-011	10	0-15	11,82
ER-001	6	0-15	13,30	ER-006	17	15-25	14,67
ER-001	6	0-15	15,60	ER-006	17	15-25	35,15
ER-001	6	0-15	11,02	ER-006	17	15-25	27,28
ER-001	6	0-15	9,88	ER-004	19	15-25	2,40
ER-001	6	0-15	11,72	ER-004	19	15-25	3,24
ER-001	6	0-15	7,22	ER-004	19	15-25	4,74
ER-001	6	0-15	7,51	ER-004	19	15-25	5,12
ER-002	6	0-15	7,43	ER-010	32	25-35	42,63
ER-002	6	0-15	12,56	ER-010	32	25-35	47,56
ER-002	6	0-15	16,13	ER-010	32	25-35	60,11
ER-002	6	0-15	8,72	ER-010	32	25-35	31,88
ER-008	8	0-15	27,34	ER-010	32	25-35	43,32
ER-008	8	0-15	11,33	ER-010	32	25-35	29,69
ER-008	8	0-15	49,67	ER-010	32	25-35	86,32
ER-008	8	0-15	29,50	ER-010	32	25-35	38,50

ER-008	8	0-15	22,17
ER-008	8	0-15	39,05
ER-008	8	0-15	26,03
ER-003	9	0-15	11,00
ER-003	9	0-15	28,51
ER-003	9	0-15	19,14
ER-003	9	0-15	14,50
ER-003	9	0-15	10,58
ER-003	9	0-15	16,57
ER-003	9	0-15	16,97
ER-003	9	0-15	14,34
ER-003	9	0-15	28,05
ER-003	9	0-15	17,64
ER-012	9	0-15	4,90
ER-012	9	0-15	4,86
ER-012	9	0-15	4,48
ER-012	9	0-15	5,48

ER-009	36	35-45	50,98
ER-009	36	35-45	58,18
ER-009	36	35-45	68,69
ER-009	36	35-45	52,55
ER-009	36	35-45	48,24
ER-009	36	35-45	42,32
ER-009	36	35-45	68,65
ER-009	36	35-45	77,66
ER-009	36	35-45	73,18
ER-009	36	35-45	58,03
ER-009	36	35-45	50,35
ER-009	36	35-45	50,78
ER-009	36	35-45	92,22
ER-009	36	35-45	52,90
ER-009	36	35-45	64,09
ER-009	36	35-45	65,76
ER-009	36	35-45	82,29

Tabela E-2 – Valores de FD em função da orientação das amostras de fachadas.

Ident.	Idade (Anos)	Orient.	FD (%)
ER-005	5	N	5,31
ER-007	5	N	11,51
ER-001	6	N	7,22
ER-002	6	N	16,13
ER-008	8	N	27,34
ER-008	8	N	11,33
ER-008	8	N	49,67
ER-003	9	N	11,00
ER-003	9	N	28,51
ER-003	9	N	19,14
ER-003	9	N	14,50
ER-011	10	N	9,78
ER-011	10	N	4,70
ER-011	10	N	9,20
ER-011	10	N	10,10
ER-006	17	N	14,67
ER-006	17	N	35,15
ER-006	17	N	27,28
ER-004	19	N	4,74
ER-010	32	N	42,60
ER-010	32	N	47,60
ER-010	32	N	60,10

Ident.	Idade (Anos)	Orient.	FD (%)
ER-009	36	L	52,90
ER-009	36	L	64,09
ER-005	5	S	1,45
ER-007	5	S	12,71
ER-001	6	S	7,51
ER-002	6	S	8,72
ER-008	8	S	29,50
ER-008	8	S	22,17
ER-003	9	S	10,58
ER-003	9	S	16,57
ER-003	9	S	16,97
ER-003	9	S	14,34
ER-012	9	S	1,05
ER-011	10	S	5,61
ER-011	10	S	3,90
ER-011	10	S	10,48
ER-011	10	S	9,41
ER-004	19	S	5,12
ER-010	32	S	31,90
ER-010	32	S	43,30
ER-010	32	S	29,70
ER-009	36	S	50,98

ER-009	36	N	68,65
ER-009	36	N	77,66
ER-009	36	N	73,18
ER-009	36	N	58,03
ER-009	36	N	50,35
ER-009	36	N	50,78
ER-009	36	N	92,22
ER-005	5	L	1,42
ER-007	5	L	7,25
ER-001	6	L	5,80
ER-001	6	L	11,05
ER-001	6	L	6,58
ER-001	6	L	7,87
ER-001	6	L	10,18
ER-002	6	L	7,43
ER-008	8	L	26,03
ER-003	9	L	17,64
ER-012	9	L	4,90
ER-012	9	L	4,86
ER-012	9	L	4,48
ER-011	10	L	20,04
ER-004	19	L	2,40
ER-010	32	L	38,50

ER-009	36	S	58,18
ER-009	36	S	68,69
ER-009	36	S	52,55
ER-009	36	S	48,24
ER-009	36	S	42,32
ER-005	5	O	1,48
ER-007	5	O	12,11
ER-001	6	O	13,30
ER-001	6	O	15,60
ER-001	6	O	11,02
ER-001	6	O	9,88
ER-001	6	O	11,72
ER-002	6	O	12,56
ER-008	8	O	39,05
ER-003	9	O	28,05
ER-012	9	O	5,48
ER-012	9	O	4,28
ER-012	9	O	6,42
ER-011	10	O	11,82
ER-004	19	O	3,24
ER-010	32	O	86,30
ER-009	36	O	65,76
ER-009	36	O	82,29

Tabela E-3 – Valores médios de FD em função do andar das amostras de fachadas.

Idade (Anos)	Andar	FD (%)
5	1	7,03
6	1	8,18
9	1	19,16
10	1	21,48
17	1	34,94
32	1	56,59
36	1	64,28
5	2	8,56
6	2	9,91
9	2	16,57
10	2	7,60
17	2	35,14
32	2	48,90
36	2	62,71
5	3	5,13
6	3	8,86
9	3	16,92

Idade (Anos)	Andar	FD (%)
5	4	9,39
6	4	15,36
9	4	11,96
10	4	9,52
17	4	16,47
32	4	50,24
36	4	65,21
5	5	8,53
6	5	12,88
9	5	12,23
10	5	9,13
17	5	23,06
32	5	56,71
36	5	64,01
5	6	9,34
6	6	6,33
9	6	9,64

10	3	13,63
17	3	24,71
32	3	51,12
36	3	62,75

10	6	8,53
17	6	10,72
32	6	50,41
36	6	61,13

Tabela E-4 – Valores médios de FD em função da região de análise das amostras de fachadas.

Ident.	Idade	Região	FD (%)	FDR (%)
ER-005	5	N-PC	12,50	2,45
ER-005	5	L-PC	2,35	0,46
ER-005	5	O-PC	1,53	0,30
ER-007	5	N-PC	4,24	0,83
ER-007	5	L-PC	5,45	1,07
ER-007	5	S-PC	6,21	1,22
ER-007	5	O-PC	11,59	2,27
ER-001	6	L-PC	14,81	2,90
ER-001	6	N-PC	41,67	8,17
ER-001	6	S-PC	16,67	3,27
ER-001	6	O-PC	38,25	7,50
ER-002	6	N-PC	17,47	3,43
ER-002	6	L-PC	30,98	6,07
ER-002	6	S-PC	13,79	2,70
ER-002	6	O-PC	28,51	5,59
ER-008	9	N-PC	45,94	9,01
ER-008	9	S-PC	32,87	6,44
ER-008	9	O-PC	29,41	5,77
ER-012	9	L-PC	8,41	1,65
ER-012	9	S-PC	0,57	0,11
ER-012	9	O-PC	7,80	1,53
ER-011	10	N-PC	17,50	3,43
ER-011	10	L-PC	15,13	2,97
ER-011	10	S-PC	16,91	3,32
ER-011	10	O-PC	7,14	1,40
ER-004	19	N-PC	2,92	0,57
ER-004	19	S-PC	5,85	1,15
ER-010	32	N-PC	48,87	9,58
ER-010	32	L-PC	15,71	3,08
ER-010	32	S-PC	43,89	8,61
ER-010	32	O-PC	89,43	17,54
ER-009	36	N-PC	67,81	13,30
ER-009	36	L-PC	61,93	12,14
ER-009	36	S-PC	75,08	14,72

Ident.	Idade	Região	FD (%)	FDR (%)
ER-007	5	O-CE	13,64	5,05
ER-001	6	N-CE	16,67	6,17
ER-001	6	L-CE	2,26	0,84
ER-001	6	S-CE	72,22	26,75
ER-001	6	O-CE	12,79	4,74
ER-002	6	N-CE	14,71	5,45
ER-002	6	L-CE	2,96	1,10
ER-002	6	S-CE	11,76	4,36
ER-002	6	O-CE	2,61	0,97
ER-008	9	N-CE	9,56	3,54
ER-008	9	L-CE	0,97	0,36
ER-008	9	S-CE	15,04	5,57
ER-008	9	O-CE	12,34	4,57
ER-012	9	L-CE	12,04	4,46
ER-012	9	O-CE	9,26	3,43
ER-012	9	S-CE	2,82	1,04
ER-011	10	N-CE	5,78	2,14
ER-011	10	L-CE	15,06	5,58
ER-011	10	S-CE	6,69	2,48
ER-011	10	O-CE	21,76	8,06
ER-004	19	N-CE	1,74	0,64
ER-004	19	S-CE	1,74	0,64
ER-010	32	N-CE	73,10	27,07
ER-010	32	L-CE	35,74	13,24
ER-010	32	S-CE	46,87	17,36
ER-010	32	O-CE	59,04	21,87
ER-009	36	N-CE	77,75	28,80
ER-009	36	L-CE	52,13	19,31
ER-009	36	S-CE	82,32	30,49
ER-009	36	O-CE	71,13	26,34
ER-002	6	N-JP	50,00	30,49
ER-008	9	N-JP	83,33	50,81
ER-008	9	S-JP	69,44	42,34
ER-008	9	O-JP	76,19	46,46

ER-009	36	O-PC	62,58	12,27
ER-005	5	N-AB	0,83	0,52
ER-007	5	N-AB	30,35	18,97
ER-005	5	L-AB	0,70	0,44
ER-007	5	L-AB	14,81	9,26
ER-007	5	S-AB	31,29	19,56
ER-005	5	O-AB	1,23	0,77
ER-007	5	O-AB	6,94	4,34
ER-002	6	N-AB	5,56	3,47
ER-002	6	L-AB	3,75	2,34
ER-002	6	S-AB	27,78	17,36
ER-002	6	O-AB	3,41	2,13
ER-008	9	N-AB	12,50	7,81
ER-012	9	L-AB	3,49	2,18
ER-008	9	S-AB	8,33	5,21
ER-012	9	O-AB	4,21	2,63
ER-011	10	N-AB	11,44	7,15
ER-011	10	S-AB	10,55	6,59
ER-004	19	N-AB	0,24	0,15
ER-004	19	S-AB	0,49	0,31
ER-010	32	N-AB	45,23	28,27
ER-010	32	L-AB	82,14	51,34
ER-010	32	S-AB	51,67	32,29
ER-010	32	O-AB	57,14	35,71
ER-009	36	N-AB	73,18	45,74
ER-009	36	S-AB	84,00	52,50
ER-001	6	N-SA	5,17	1,16
ER-001	6	L-SA	19,49	4,39
ER-001	6	S-SA	4,35	0,98
ER-001	6	O-SA	24,44	5,50
ER-008	9	N-SA	7,32	1,65
ER-008	9	L-SA	46,78	10,54
ER-008	9	S-SA	0,94	0,21
ER-008	9	O-SA	38,34	8,63
ER-012	9	L-SA	11,96	2,69
ER-012	9	O-SA	21,48	4,84
ER-011	10	N-SA	1,74	0,39
ER-011	10	L-SA	3,09	0,70
ER-011	10	O-SA	4,63	1,04
ER-006	17	N-SA	47,73	10,75
ER-004	19	N-SA	7,19	1,62
ER-004	19	L-SA	7,50	1,69
ER-004	19	S-SA	7,06	1,59
ER-004	19	O-SA	10,12	2,28

ER-011	10	N-JP	35,03	21,36
ER-011	10	L-JP	78,43	47,82
ER-011	10	S-JP	8,28	5,05
ER-011	10	O-JP	32,35	19,73
ER-005	5	N-TP	16,67	16,67
ER-005	5	L-TP	10,71	10,71
ER-007	5	O-TP	2,86	2,86
ER-007	5	L-TP	9,03	9,03
ER-007	5	S-TP	1,44	1,44
ER-007	5	O-TP	19,10	19,10
ER-002	6	N-TP	35,29	35,29
ER-002	6	L-TP	2,00	2,00
ER-002	6	S-TP	25,00	25,00
ER-002	6	O-TP	38,33	38,33
ER-012	9	O-TP	6,00	6,00
ER-010	32	N-TP	45,26	45,26
ER-010	32	L-TP	42,16	42,16
ER-010	32	S-TP	42,18	42,18
ER-010	32	O-TP	64,71	64,71
ER-009	36	N-TP	47,22	47,22
ER-009	36	L-TP	65,84	65,84
ER-009	36	S-TP	31,22	31,22
ER-009	36	O-TP	90,58	90,58
ER-005	5	S-TO	26,09	9,59
ER-005	5	O-TO	5,13	1,89
ER-007	5	N-TO	13,33	4,90
ER-007	5	L-TO	15,67	5,76
ER-007	5	S-TO	14,07	5,17
ER-007	5	O-TO	15,21	5,59
ER-002	6	N-TO	2,17	0,80
ER-002	6	L-TO	6,62	2,43
ER-002	6	O-TO	4,55	1,67
ER-008	9	N-TO	13,20	4,85
ER-008	9	L-TO	16,16	5,94
ER-008	9	S-TO	6,79	2,49
ER-012	9	L-TO	5,55	2,04
ER-012	9	S-TO	1,75	0,64
ER-012	9	O-TO	8,00	2,94
ER-011	10	N-TO	1,96	0,72
ER-011	10	L-TO	28,02	10,30
ER-011	10	S-TO	0,59	0,22
ER-011	10	O-TO	3,36	1,24
ER-009	36	N-TO	66,39	24,41
ER-009	36	L-TO	23,81	8,75

ER-005	5	L-CE	3,29	1,22
ER-005	5	O-CE	4,94	1,83

ER-009	36	S-TO	17,92	6,59
ER-009	36	O-TO	98,09	36,06

Tabela E-5 – Valores médios de FD em função das prumadas (P) e empenas (E) das amostras de fachadas.

Ident.	Idade	P e E	FD (%)
ER-007	5	P	11,51
ER-007	5	P	7,25
ER-007	5	P	12,71
ER-007	5	P	12,11
ER-005	5	P	1,42
ER-005	5	P	1,48
ER-001	6	P	5,80
ER-001	6	P	11,05
ER-001	6	P	6,58
ER-001	6	P	7,87
ER-001	6	P	10,18
ER-001	6	P	13,30
ER-001	6	P	15,60
ER-001	6	P	11,02
ER-001	6	P	9,88
ER-001	6	P	11,72
ER-002	6	P	16,13
ER-002	6	P	7,43
ER-002	6	P	8,72
ER-002	6	P	12,56
ER-008	8	P	27,34
ER-008	8	P	11,33
ER-008	8	P	49,67
ER-008	8	P	29,50
ER-008	8	P	22,17
ER-003	9	P	11,00
ER-003	9	P	28,51
ER-003	9	P	19,14
ER-003	9	P	14,50
ER-012	9	P	4,90
ER-012	9	P	4,86
ER-012	9	P	4,48
ER-003	9	P	10,58
ER-003	9	P	16,57
ER-003	9	P	16,97

Ident.	Idade	P e E	FD (%)
ER-011	10	P	10,48
ER-011	10	P	9,41
ER-006	17	P	14,67
ER-006	17	P	35,15
ER-006	17	P	27,28
ER-004	19	P	2,40
ER-004	19	P	3,24
ER-010	32	P	42,63
ER-010	32	P	47,56
ER-010	32	P	60,11
ER-010	32	P	31,88
ER-010	32	P	43,32
ER-010	32	P	29,69
ER-009	36	P	68,65
ER-009	36	P	77,66
ER-009	36	P	73,18
ER-009	36	P	58,03
ER-009	36	P	50,35
ER-009	36	P	50,78
ER-009	36	P	92,22
ER-009	36	P	50,98
ER-009	36	P	58,18
ER-009	36	P	68,69
ER-009	36	P	52,55
ER-009	36	P	48,24
ER-009	36	P	42,32
ER-005	5	E	5,31
ER-005	5	E	1,45
ER-001	6	E	7,22
ER-001	6	E	7,51
ER-008	8	E	26,03
ER-008	8	E	39,05
ER-003	9	E	17,64
ER-012	9	E	1,05
ER-003	9	E	28,05

ER-003	9	P	14,34
ER-012	9	P	5,48
ER-012	9	P	4,28
ER-012	9	P	6,42
ER-011	10	P	9,78
ER-011	10	P	4,70
ER-011	10	P	9,20
ER-011	10	P	10,10
ER-011	10	P	5,61
ER-011	10	P	3,90

ER-011	10	E	20,04
ER-011	10	E	11,82
ER-004	19	E	4,74
ER-004	19	E	5,12
ER-010	32	E	38,50
ER-010	32	E	86,32
ER-009	36	E	52,90
ER-009	36	E	64,09
ER-009	36	E	65,76
ER-009	36	E	82,29