



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANTONIO RINALDO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA COM
ACABAMENTO EM PINTURA NA CIDADE DO RECIFE**

Recife
2020

ANTONIO RINALDO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA COM
ACABAMENTO EM PINTURA NA CIDADE DO RECIFE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas com ênfase em construção civil

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

O48e Oliveira Júnior, Antonio Rinaldo de.

Estudo da degradação de fachadas em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife / Antonio Rinaldo de Oliveira Júnior – Recife, 2020.
166f.: il., figs., quads., fotos e tabs.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2020.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Argamassa. 3. Curvas de degradação. 4. Vida útil. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Orientador). II. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2020-106

ANTONIO RINALDO DE OLIVEIRA JÚNIOR

**ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM ARGAMASSA COM
ACABAMENTO EM PINTURA NA CIDADE DO RECIFE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 28/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^o Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Maria Rosário Veiga (Examinadora Externa)
Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa

Prof.^a Dr.^a Yêda Vieira Póvoas (Examinadora Externa)
Universidade de Pernambuco

Prof.^o Dr. Ângelo Just da Costa e Silva (Examinador Externo)
Universidade Católica de Pernambuco

Para minha avó Dagmar (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar no melhor caminho.

À minha família, por ser a base de tudo que eu sou.

Ao meu orientador, Arnaldo, pelos conselhos e conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada do mestrado.

Ao professor Carlos Wellington, por despertar em mim o interesse pelo tema de vida útil dos materiais.

À Wildson, pela prestatividade apresentada durante o trabalho de campo.

À Ayrton, pela disponibilidade para revisões do texto.

Aos colegas de mestrado que se tornaram amigos.

À todos que contribuíram de alguma forma para a construção deste trabalho.

“Que darei eu ao Senhor, por todos os benefícios que me tem feito?”
(BÍBLIA, Salmos, 116, 12)

RESUMO

A degradação é um fenômeno inexorável a que todos os materiais estão sujeitos. Nas edificações, o sistema mais vulnerável a este fenômeno são as fachadas por estarem mais expostas aos agentes de degradação. Visando entender melhor este fenômeno, surgiram muitos estudos nesta linha de pesquisa. O presente trabalho tem como objetivo estudar o fenômeno de degradação das fachadas em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife-PE, de modo a analisar a influência dos principais fatores de degradação na vida útil da edificação. A metodologia adotada foi a quantificação da degradação através de inspeções visuais para a construção de curvas de degradação em função de fatores intrínsecos e extrínsecos. Também foram realizadas considerações sobre a vida útil. Ao todo, foram analisadas 236 fachadas de 28 edifícios. Os resultados demonstraram que a principal manifestação patológica encontrada nos revestimentos de argamassa com acabamento em pintura foram as manchas (90%), seguidas pelas fissuras (8%) e os descolamentos (2%). A análise das curvas de degradação demonstrou que a degradação evolui com o tempo e que dos fatores estudados, apenas a orientação cardinal apresentou influência relevante no fenômeno, sendo o potencial crescente na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. Com relação à predição de vida útil, com base nos níveis de desempenho adotados, estima-se que as fachadas atinjam o fim da vida útil estética aos 5 anos e o fim da vida útil física aos 12 anos.

Palavras-chave: Fachadas. Argamassa. Pintura. Curvas de degradação. Vida útil.

ABSTRACT

Degradation is an inexorable phenomenon to which all materials are subject. In buildings, the system most vulnerable to this phenomenon is the facades because they are more exposed to degradation agents. In order to better understand this phenomenon, many studies have appeared in this line of research. The present work aims to study the phenomenon of degradation of mortar facades with paint finish in the city of Recife-PE, in order to analyze the influence of the main factors of degradation in the useful life of the building. The adopted methodology was the quantification of the degradation through visual inspections for the construction of degradation curves according to intrinsic and extrinsic factors. Considerations were also made about the useful life. In all, 236 facades of 28 buildings were analyzed. The results showed that the main pathological manifestation found in mortar coatings with a paint finish was spots (90%), followed by fissures (8%) and detachments (2%). The analysis of the degradation curves showed that the degradation evolves over time and that of the factors studied, only the cardinal orientation had a relevant influence on the phenomenon, with the potential increasing in the following order: north, west, east and south. Regarding the prediction of useful life, based on the performance levels adopted, it is estimated that the facades reach the end of the aesthetic useful life at 5 years and the end of the physical useful life at 12 years.

Keywords: Facades. Mortar. Painting. Degradation curves. Lifespan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Agentes de degradação.....	19
Figura 2 –	Metodologia de avaliação de desempenho.....	24
Figura 3 –	Fatores que influenciam no processo de degradação.....	32
Figura 5 –	Exemplo de sombreamento devido ao entorno edificado.....	40
Figura 6 –	Relação entre estado de degradação e operação de manutenção em fachadas....	50
Figura 7 –	Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema.....	64
Figura 8 –	Curva de degradação média de 100 amostras, expressando o NGD ao longo do tempo.....	72
Figura 9 –	Curvas de degradação de 117 amostras de revestimento cerâmico de fachada de Portugal.....	73
Figura 10 –	Curva de degradação dos revestimentos pétreos de fachada obtida a partir de cento e vinte casos analisados no trabalho de campo.....	75
Figura 11 -	Curvas de degradação (linear e polinomial) obtidas a partir dos 220 estudos de caso.....	76
Figura 12 –	Curvas de degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos ...	79
Figura 13 –	Curvas de degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado.....	79
Figura 14 –	Curvas de degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos.....	81
Figura 15 –	Curvas de degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos em relação do tempo.....	82
Figura 16 -	Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (FGD x Idade).....	83
Figura 17 –	Esquema ilustrativo de sobreposição da malha.....	88
Figura 18 –	Fluxograma do programa experimental.....	93
Figura 19 –	Esquema ilustrativo de sobreposição da malha.....	98
Figura 20 –	Mapa do Brasil com destaque em Recife, Pernambuco.....	102
Figura 21 –	(A) Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro e (B) Mapa com destaque à zona 8 onde se enquadra Recife-PE.....	103
Figura 22 –	Gráfico Climatológico da precipitação acumulada de Recife – período de 1961-1990.....	103
Figura 23 –	Gráfico Climatológico da temperatura máxima de Recife – período de 1961-1990.....	104
Figura 24 –	Gráfico Climatológico da temperatura mínima de Recife – período de 1961-1990.....	104

Figura 25 – Gráfico Climatológico da temperatura média de Recife – período de 1961-1990.....	104
Figura 26 – Gráfico Climatológico da umidade relativa de Recife – período de 1961-1990.....	105
Figura 27 – Gráfico Climatológico da insolação total em Recife – período de 1961-1990.....	105
Figura 28 – Gráfico resumo das características climáticas de Recife.....	105
Figura 29 – Rosa dos ventos para Recife apresentando quantas horas por ano o vento sopra na direção indicada.....	106
Figura 30 – Vista das áreas sombreadas e ensolaradas da Terra em quatro dias do ano.....	107
Figura 31 – Resumo da insolação nas fachadas dos edifícios localizados em Recife.....	107
Figura 32 - Localização dos edifícios estudados.....	108
Figura 33 - Sistema de classificação da orientação cardinal das fachadas analisadas.....	110
Figura 34 – Distribuição das amostras em relação à orientação.....	110
Figura 35 - Distribuição das amostras em relação à cor.....	112
Figura 36 - Distribuição das amostras em relação à textura.....	112
Figura 37 - Distribuição das amostras em relação à presença de detalhes construtivos.....	113
Figura 38 - Distribuição das amostras em relação à geometria.....	114
Figura 39 - Distribuição das amostras em relação à distância do mar.....	115
Figura 40 - Distribuição das amostras em relação à proximidade de poluentes.....	115
Figura 41 – Esquema ilustrativo de classificação das fachadas com relação a influência da ação vento-chuva.....	116
Figura 42 - Distribuição das amostras em relação à influência da ação vento-chuva.....	116
Figura 43 – Ocorrência das patologias nas amostras analisadas.....	118
Figura 44 – Curvas de degradação (linear e polinomial) das 236 fachadas analisadas.....	121
Figura 45 - Curvas de degradação (linear e polinomial) dos 28 edifícios analisados.....	122
Figura 46 – Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da orientação.....	123
Figura 47 – Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da cor.....	125
Figura 48 - Curvas de degradação das fachadas em função da textura.....	126
Figura 49 - Curvas de degradação dos edifícios em função da textura.....	126
Figura 50 - Curvas de degradação das fachadas em função da presença de detalhes construtivos.....	127
Figura 51 - Curvas de degradação das fachadas em função da geometria.....	128
Figura 52 - Curvas de degradação das fachadas em função da distância do mar.....	129
Figura 53 - Curvas de degradação dos edifícios em função da distância do.....	130
Figura 54 - Curvas de degradação das fachadas em função da proximidade de fontes poluentes.....	131

Figura 55 - Curvas de degradação dos edifícios em função da proximidade de fontes poluentes.....	131
Figura 56 - Curvas de degradação das fachadas em função da influência da ação vento-chuva	132
Figura 57 – Curvas de degradação (regressão polinomial) das 236 fachadas analisadas.....	135
Figura 58 – Curvas de degradação (regressão polinomial) dos 28 edifícios analisados	135
Figura 59 - Curvas de degradação (regressão polinomial) das fachadas em função da orientação cardeal.....	137
Figura 60 – “A cruz da vida útil”: vidas úteis em função da orientação cardeal.....	141

LISTA DE FOTOS

Foto 1 –	Exemplo de alteração cromática	53
Foto 2 –	Exemplo de eflorescência.....	55
Foto 3 –	Exemplos de manchas decorrentes de biodeterioração	56
Foto 4 –	Exemplo de fissuras (A) e trincas (B)	57
Foto 5 –	Exemplo de falha de vedação	58
Foto 6 –	Exemplos de descolamento	60
Foto 7 –	Exemplo de desagregação	60
Foto 8 –	Exemplos de degradação da pintura.....	61
Foto 9 –	Ilustrações de ações de manutenção parciais	95
Foto 10 –	Exemplo de intervenções indevidas nas fachadas.....	95
Foto 11 –	Ilustração do procedimento do registro fotográfico	101
Foto 12 –	Exemplos de cada grupo em função da cor: (A) Branco; (B) Amarelo, bege; (C) Verde claro, azul claro; e (D) Verde escuro, azul escuro	111
Foto 13 –	Fachada (A) sem friso e (B) com friso	113
Foto 14 –	Fachada (A) corrente e (B) irregular	114
Foto 15 –	Fachadas (A) internas e (B) externas	117
Foto 16 –	Exemplo de fachada com $S_w > 20\%$ (fachada FL1L, com $S_w = 22,40\%$)	136
Foto 17 –	Exemplo de fachada com $S_w > 20\%$ (fachada FC3S, com $S_w = 20,17\%$)	137
Foto 18 –	Exemplo de fachada com $S_w > 10\%$ (fachada FD2N, com $S_w = 10,62\%$).....	138
Foto 19 –	Exemplo de fachada com $S_w > 10\%$ (fachada FF4O, com $S_w = 10,42\%$)	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos de desempenho para um sistema	25
Quadro 2 – Elementos do sistema de revestimento.....	30
Quadro 3 – Dimensões do clima	34
Quadro 4 – Faixas de agressividade da chuva dirigida com base na metodologia de Lacy...	38
Quadro 5 – Resumo das pesquisas relacionadas ao estudo do desempenho de fachadas através de curvas de degradação	84
Quadro 6 – Níveis de degradação	91
Quadro 7 – Manifestações patológicas analisadas	99
Quadro 8 – Níveis de degradação adotados	100
Quadro 9 – Níveis de degradação propostos por Chai (2011)	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto (VUP) para os sistemas de fachada.....	64
Tabela 2 – Valores de ponderação das regiões de fachadas.....	77
Tabela 3 – Importância relativa dos defeitos ($k_{a,n}$) para cada nível de acordo com o custo de reparo dos revestimentos.....	90
Tabela 4 – Importância relativa de cada manifestação patológica.....	99
Tabela 5 – Distribuição das amostras em relação à idade da última intervenção	109
Tabela 6 – Coeficiente de absorção da radiação solar em relação à cor	111
Tabela 7 – Distribuição das manifestações patológicas em função da orientação cardinal .	119
Tabela 8 – Comparação da degradação entre fachadas internas e externas.....	133
Tabela 9 – Coeficiente de correlação (R^2) das curvas de degradação.....	134
Tabela 10 – Distribuição das manifestações patológicas em função dos níveis de degradação.....	140

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2	DESEMPENHO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO	24
2.1	REQUISITOS DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE REVESTIMENTO	25
2.1.1	Funções do sistema de revestimento de argamassa	26
2.1.2	Propriedades do sistema de revestimento de argamassa	27
2.2	O SISTEMA DE REVESTIMENTO TRADICIONAL.....	29
2.3	RESUMO	30
3	DEGRADAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO	32
3.1	FATORES EXTRÍNSECOS	33
3.1.1	Agentes climáticos	34
3.1.1.1	Influência da umidade	35
3.1.1.2	Influência da temperatura.....	36
3.1.1.3	Ação do vento e da chuva dirigida	37
3.1.2	Entorno da edificação	39
3.1.2.1	Distância do mar.....	40
3.1.2.2	Proximidade de poluentes	41
3.1.3	Ação de agentes bióticos	41
3.2	FATORES INTRÍNSECOS	42
3.2.1	Características de projeto	42
3.2.2	Especificação de materiais	44
3.2.2.1	Agregado	44
3.2.2.2	Aglomerante	45
3.2.2.3	Aditivos e adições	46
3.2.2.4	Tinta	47
3.2.3	Execução	48
3.2.4	Uso e Manutenção	49
3.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS	51

3.3.1	Manchas	52
3.3.1.1	Eflorescência	53
3.3.1.2	Biodeterioração	55
3.3.2	Perda de continuidade	56
3.3.3	Perda de aderência da argamassa	58
3.3.4	Degradação da pintura	60
3.4	RESUMO	62
4	VIDA ÚTIL DO SISTEMA DE REVESTIMENTO	63
4.1	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL.....	66
4.1.1	Métodos determinísticos	66
4.1.2	Métodos probabilísticos	67
4.1.3	Métodos de engenharia	68
4.1.4	Considerações sobre os métodos de previsão de vida útil	69
4.2	CURVAS DE DEGRADAÇÃO APLICADAS A REVESTIMENTOS DE FACHADAS	70
4.2.1	Modelo proposto por Gaspar e Brito (2008 e 2011) e Gaspar (2009)	71
4.2.2	Modelo proposto por Sousa (2008)	72
4.2.3	Modelo proposto por Silva (2009)	74
4.2.4	Modelo proposto por Chai (2011)	75
4.2.5	Modelo proposto por Silva (2014)	76
4.2.6	Modelo proposto por Souza (2016)	81
4.2.7	Modelo proposto por Santos (2018)	83
4.2.8	Considerações sobre as curvas de degradação aplicadas a revestimentos de fachadas	84
4.3	QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO	87
4.3.1	Quantificação das áreas	87
4.3.2	Análise da fachada por regiões	88
4.3.3	Manifestações patológicas estudadas	89
4.3.4	Importância relativa de cada manifestação patológica	89
4.3.5	Níveis de degradação	91
4.4	RESUMO	92
5	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	93
5.1	COLETA DE DADOS	94
5.1.1	Definição do objeto de estudo	94

5.1.2	Definição dos parâmetros para quantificação da degradação	96
5.1.2.1	Quantificação das áreas	97
5.1.2.2	Manifestações patológicas analisadas	98
5.1.2.3	Importância relativa de cada manifestação patológica.....	99
5.1.2.4	Níveis de degradação	99
5.1.3	Coleta de dados em campo	100
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA	101
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ESTUDADOS.....	108
5.3.1	Fatores intrínsecos	108
5.3.1.1	Idade da última intervenção	108
5.3.1.2	Orientação cardeal das fachadas	110
5.3.1.3	Cor do revestimento	111
5.3.1.4	Textura do revestimento.....	112
5.3.1.5	Detalhes construtivos	112
5.3.1.6	Geometria das fachadas.....	113
5.3.2	Fatores extrínsecos	114
5.3.2.1	Distância do mar.....	114
5.3.2.2	Proximidade de fontes poluentes.....	115
5.3.2.3	Influência da ação vento-chuva.....	116
5.3.3	Resumo da caracterização dos revestimentos	117
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	118
6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ANALISADAS	118
6.2	INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO CARDEAL	119
6.3	ANÁLISE DAS CURVAS DE DEGRADAÇÃO	120
6.3.1	Fatores intrínsecos	123
6.3.1.1	Orientação cardeal das fachadas	123
6.3.1.2	Cor do revestimento	125
6.3.1.3	Textura do revestimento.....	126
6.3.1.4	Detalhes construtivos	127
6.3.1.5	Geometria das fachadas.....	128
6.3.2	Fatores extrínsecos	129
6.3.2.1	Distância do mar.....	129
6.3.2.2	Proximidade de fontes poluentes.....	130

6.3.2.3	Influência da ação vento-chuva.....	132
6.3.3	Considerações sobre a influência dos fatores extrínsecos e intrínsecos na degradação	133
6.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIDA ÚTIL DO SISTEMA DE REVESTIMENTO	135
7	CONCLUSÕES	142
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS....	158
	APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS E CÁLCULO DA DEGRADAÇÃO	160

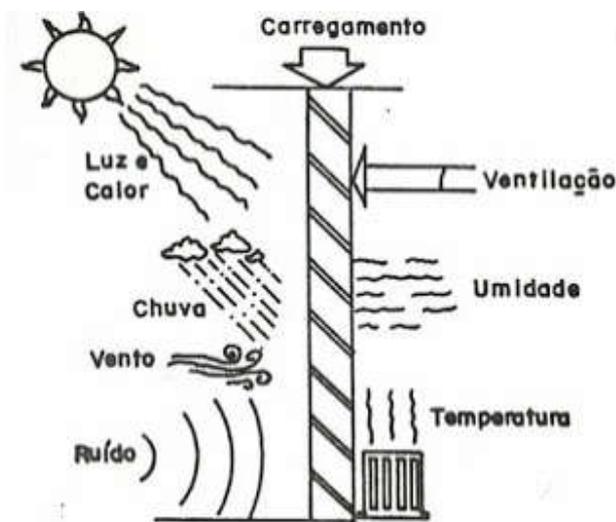
1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil, como toda a indústria, procura estabelecer processos para a criação de um produto seriado, porém ainda não atingiu plenamente este objetivo como outros segmentos industriais. Isto pode ser associado ao fato de uma edificação não ser um produto seriado e sim único dentro de suas especificidades, dificultando manter uma linha de produção contínua (VASQUEZ *et al.*, 2010).

Durante a concepção de uma edificação, cabe ao projetista analisar todas as etapas envolvidas neste complexo sistema, fundações, estruturas, vedações, instalações, revestimentos, entre outras, prezando sempre pelo desempenho adequado à finalidade a que se destina. No entanto, depois de concluída a construção, apenas a camada de revestimento permanece exposta, sendo um verdadeiro formador de imagem do imóvel (SILVA, 2001).

Por ser a parte mais externa da edificação, o revestimento da fachada é o sistema que mais sofre a ação dos agentes de degradação, ilustrados na Figura 1. Esta degradação reduz o desempenho do sistema e se apresenta na forma de manifestações patológicas que podem ser notadas facilmente, devido a sua localização.

Figura 1 - Agentes de degradação



Fonte: Bauer (1987)

A influência de diferentes variáveis externas (clima local) e internas (inerentes ao próprio material e aos métodos executivos) propicia o aparecimento de manifestações patológicas, muitas vezes de difícil definição de origens em virtude de os fatores patológicos não serem isolados e sofrerem influência de outros (TAGUCHI, 2010). Elas causam desconforto físico e estético e podem trazer riscos à segurança e à vida de seus usuários (SILVA, 2014).

Existem vários casos de pessoas atingidas por materiais que se desprenderam do revestimento da fachada. Citam-se três ocorridos no Brasil. Em 23 de outubro de 2017, parte do revestimento de fachada de uma loja no centro do Recife caiu e atingiu duas pessoas que passavam pelo local, causando ferimentos na cabeça e nos braços¹. Em 20 de maio de 2018, parte do revestimento de uma fachada lateral de um shopping em São Paulo caiu e atingiu a cabeça de uma menina de um ano e meio, que sofreu um corte profundo na cabeça². Em 6 de março de 2019, uma placa de granito caiu de uma fachada de um edifício residencial no Leblon, Rio de Janeiro, atingindo uma jovem de 20 anos, levando-a a um coma que durou mais de um mês³.

Além disto, os serviços de recuperação de fachadas são difíceis de mensurar. São bastante onerosos, podendo ultrapassar o valor de sua execução original e trazem transtornos aos moradores (OLIVEIRA, 2013).

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Nesse contexto das manifestações patológicas, as fachadas aparecem como um campo de debates em evidência, apresentando inclusive inúmeros trabalhos resultantes de pesquisas realizadas em várias regiões do país e do mundo com diversos enfoques enfatizando as características de projeto, os métodos construtivos, o efeito dos agentes de degradação, a vida útil e técnicas de inspeção, manutenção e recuperação.

Apesar disso e mesmo com os avanços tecnológicos, ainda há uma grande incidência de manifestações patológicas em sistemas construtivos e especificamente em revestimentos de fachadas. De todas as manifestações patológicas registradas nas edificações, cerca de 50% ocorrem nas fachadas (RODRIGUES *et al.*, 2011).

Grande parte das edificações, principalmente as de centros urbanos, apresenta fachadas com aparências desfiguradas, mesmo com pouco tempo de uso. A envolvente de uma edificação é classificada como limitadora de espaços (interno x externo) e tem como uma de suas funções configurar a paisagem onde está inserida. Portanto, estimular medidas para minimizar efeitos patológicos é um benefício econômico e social (PETRUCCI, 2000).

¹ Informação disponível em <<https://novamais.com/noticias>>. **Parte da fachada cai e deixa dois homens feridos no centro do Recife**. Acesso em 10 mar. 2019.

² Informação disponível em <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia>>. **Parte de fachada de shopping cai e atinge cabeça de criança de 1 ano e meio em SP**. Acesso em 10 mar. 2019.

³ Informação disponível em <<https://extra.globo.com/noticias>>. **Jovem atingida por fachada de prédio no Leblon retoma consciência após mais de um mês em coma**. Acesso em 10 mar. 2019.

A Região Metropolitana de Recife (RMR), e especialmente a cidade do Recife, possui um grande número de edificações habitacionais com 3 ou 4 pavimentos de 2 ou 4 apartamentos por andar, muitas delas construídas entre as décadas de 70, 80 e 90 para habitações populares (PIRES SOBRINHO *et al.*, 2012). Mesmo as construídas mais recentemente, ainda que não adotando a técnica construtiva de prédio-caixão (atualmente proibida), em sua maioria seguem esta tipologia. Isso é resultante da não obrigatoriedade de instalação de elevadores para edificações de até 4 pavimentos.

O sistema de revestimento das fachadas em argamassa com acabamento em pintura é predominante nessa tipologia, haja vista o seu reduzido custo inicial comparado a alternativas como o revestimento cerâmico.

Contudo, por se tratar de edificações de habitação popular, muitas vezes a qualidade dos materiais e da execução é negligenciada, o que pode acelerar o processo de degradação. Além disso, não existe uma cultura consolidada sobre a importância da manutenção. Ações de manutenção preventiva ou rotineira, na maioria das vezes, são vistas como um gasto e não como um investimento que pode evitar dispendiosas ações de manutenção corretiva.

Soma-se a esses fatores, o fato de o Recife ser uma cidade litorânea, urbana e de clima tropical, o que favorece a degradação desse sistema de revestimento que já possui uma vida útil menor que outras soluções como o cerâmico. Isso gera um desconforto visual dos usuários, que muitas vezes têm o imóvel em que moram como o seu maior patrimônio, e dos habitantes da cidade.

O estudo das anomalias de edifícios é, sem dúvida, de grande utilidade para a ciência e a prática da construção. Um de seus principais benefícios é revelar padrões e tendência de degradação a partir da investigação das anomalias nas edificações, fornecendo orientações que ajudarão a reduzir a probabilidade da ocorrência de manifestações patológicas (HOVDE, 2004; SOUZA *et al.*, 2018).

Além da prevenção da ocorrência de defeitos durante as etapas de projeto e execução, é fundamental o uso de ferramentas que forneçam suporte para manutenção e reparação de edifícios, com base no conhecimento sobre seu comportamento de degradação, permitindo a otimização e sustentabilidade das atividades de manutenção realizadas durante a vida útil dos edifícios (SILVESTRE; BRITO, 2010). Um plano de manutenção racionalizado é a maneira mais eficaz, do ponto de vista técnico e econômico, para controlar o processo de degradação (FLORES-COLEN *et al.*, 2008).

Apesar de a construção evoluir por meio de inúmeras soluções, as práticas de manutenção nem sempre acompanham este crescimento. Para o desenvolvimento de modelos de manutenção é necessário conhecimento tecnológico do sistema que as compõem, bem como do aspecto experimental, através da observação direta do comportamento em serviço das soluções (SANTOS Jr., 2016).

Uma ferramenta utilizada para alcançar este objetivo é a construção de curvas de degradação. Elas permitem relacionar a degradação ao longo do tempo em função de vários parâmetros como cor, dimensão, orientação da fachada e distância do mar.

Existem pesquisas de relevante importância que contribuem, cada uma a sua maneira, para a evolução desta área do conhecimento, dentre os quais cabe destacar os estudos de Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Silva (2009), Gaspar (2009), Gaspar e Brito (2011) e Chai (2011) realizados em Portugal. No Brasil, temos os trabalhos de Silva (2014), Souza (2016) e Santos (2018).

Diante do exposto e dando continuidade a esta linha de pesquisa, insere-se este trabalho, visando à construção das curvas de degradação das fachadas com revestimento de argamassa e com acabamento em pintura de edifícios com 3 ou 4 pavimentos, localizados na cidade do Recife-PE, para um melhor entendimento deste fenômeno.

1.2 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados os objetivos gerais e específicos desta dissertação.

1.2.1 Objetivo geral

Estudar e mensurar a degradação das fachadas com revestimento em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife-PE, a partir de inspeções de campo e construção de curvas de degradação, de modo a analisar a influência dos principais fatores de degradação na vida útil.

1.2.2 Objetivos específicos

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Caracterizar os agentes de degradação que atuam nas fachadas de Recife-PE;
- Identificar as principais manifestações patológicas que ocorrem no sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura;

- Analisar os fatores que mais contribuem para o fenômeno da degradação e estimar a vida útil das fachadas com revestimento em argamassa com acabamento em pintura de Recife-PE através da construção de curvas de degradação.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado da forma a seguir.

O primeiro capítulo apresenta a introdução, destacando o contexto e a justificativa que conduziram esta pesquisa, os objetivos e a estruturação da Dissertação.

O Capítulo 2 inicia a revisão bibliográfica que fundamenta este trabalho, apresentando os requisitos de desempenho de um sistema de revestimento de fachada. Além disso, detalha os componentes deste sistema.

O Capítulo 3 aborda o fenômeno da degradação, analisando seus principais agentes. Também apresenta as principais manifestações patológicas que ocorrem nas fachadas.

O Capítulo 4 apresenta algumas considerações sobre a vida útil e os principais métodos utilizados para sua estimativa. Também apresenta algumas pesquisas realizadas no âmbito da quantificação da degradação e estimativa de vida útil de fachadas que foram a base da metodologia utilizada no presente estudo.

O Capítulo 5 aborda a metodologia, bem como as atividades realizadas para alcançar os objetivos propostos neste presente estudo. São apresentados o levantamento, o tratamento e a análise inicial dos dados obtidos; e a caracterização da região (Recife) e dos edifícios analisados.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia. Neste capítulo são analisados os principais fatores que afetam o desempenho das fachadas da cidade do Recife-PE com base nas curvas de degradação obtidas e são apresentadas considerações sobre a estimativa de vida útil.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões finais obtidas deste presente estudo e as sugestões para pesquisas futuras.

Por último, são apresentadas as referências que fundamentaram esta pesquisa.

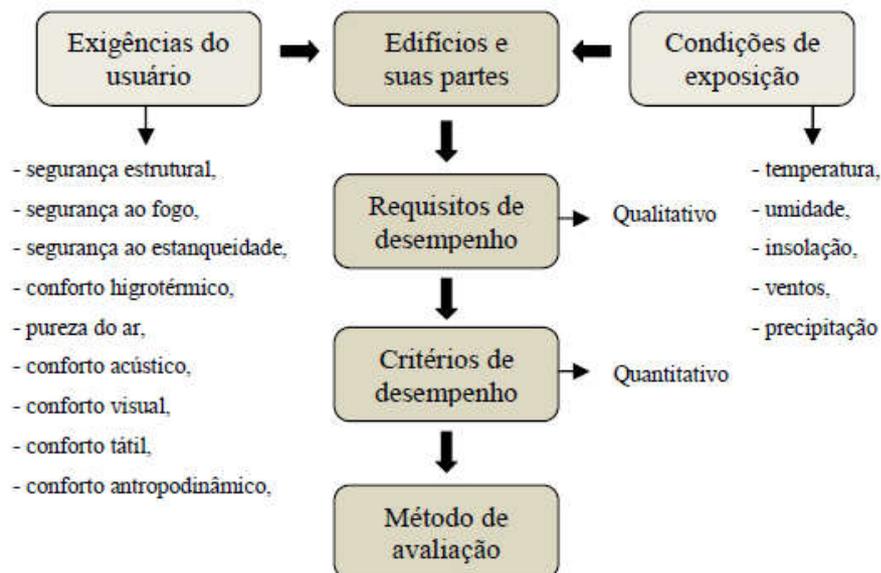
2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

A necessidade de atender a um mercado da construção civil crescente e usuários cada vez mais exigentes tem despertado o interesse para a criação de meios que garantam qualidade, conforto, manutenibilidade e durabilidade das edificações ao longo de sua vida útil (ANTUNES, 2010).

Nesse sentido, as normas de desempenho são estabelecidas buscando atender aos requisitos dos usuários, que nesse caso, referem-se aos sistemas que compõem as edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo adotado. No Brasil, destaca-se a norma brasileira de desempenho de edifícios habitacionais, a família de normas NBR 15575 (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Essa Norma define o desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. A avaliação do mesmo pode ser resumida no fluxograma da Figura 2. Inicialmente, as necessidades do usuário e as condições a que estão expostas a edificação e seus sistemas são identificadas. Após essa etapa, são definidos os requisitos (qualitativos) a serem atendidos, os critérios (quantitativos ou premissas) de cada requisito e, por último, os métodos de avaliação, os quais permitem a mensuração clara de seu atendimento.

Figura 2 – Metodologia de avaliação de desempenho



Fonte: Antunes (2010)

A norma de desempenho estabelece 13 requisitos, apresentados no Quadro 1, divididos em 3 categorias: segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Quadro 1 – Requisitos de desempenho para um sistema

Segurança	Segurança estrutural Segurança contra fogo Segurança no uso e na operação
Habitabilidade	Estanqueidade Desempenho térmico Desempenho acústico Desempenho lumínico Saúde, higiene e qualidade do ar Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade Manutenibilidade Impacto ambiental

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

A Norma ainda estabelece, para cada sistema da edificação, os níveis mínimos de desempenho que devem ser atendidos para cada requisito (NBR 15575-1, 2013). A presença destes níveis contribui com a prevenção de manifestações patológicas e consequentemente uma maior durabilidade das edificações (SILVA, 2014).

2.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE REVESTIMENTO

O sistema de revestimento é “o conjunto formado pelo revestimento de argamassa e o acabamento decorativo”. O revestimento de argamassa é “o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final, decorativo ou não”. O acabamento decorativo é “o material aplicado para acabamento decorativo aplicado sobre o revestimento de argamassa, como pintura, materiais cerâmicos, pedras naturais, placas laminadas, têxteis e papel” (ABNT NBR 13529, 2013).

Os revestimentos externos são os elementos mais expostos às 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. Torna-se imprescindível que, durante o processo construtivo, se opte por soluções visando à qualidade e durabilidade da construção, de modo a prolongar sua vida útil, que está intimamente relacionada às ações de manutenção. Estas ações representam uma melhoria no desempenho dos revestimentos (SILVA, 2009).

A interface dos revestimentos com os demais componentes, elementos e sistemas da edificação, como caixilhos, esquadrias, estruturas, coberturas, pisos e instalações, provoca a necessidade de uma abordagem conjunta do desempenho dos elementos e sistemas que interagem entre si (SOUZA, 2016).

Para que esse sistema atenda aos níveis mínimos de desempenho para o qual foi projetado, é necessário que ele cumpra algumas funções que estão diretamente relacionadas a algumas propriedades.

2.1.1 Funções do sistema de revestimento de argamassa

As principais funções do sistema de revestimento estão relacionadas à estanqueidade, conforto térmico e acústico, segurança contra incêndio e estética.

A estanqueidade é a propriedade de um elemento de impedir a penetração ou a passagem de fluidos através de si (ABNT NBR 15575-3, 2013). No sistema de revestimento de argamassa, a estanqueidade está relacionada à passagem de água.

A mudança na arquitetura ao longo dos anos elevou o nível de solicitação aos quais as fachadas estão expostas. Os edifícios de poucos andares e grandes beirais deram lugar a arranha-céus onde a água da chuva escorre por toda a fachada numa lâmina d'água que exige um maior desempenho em relação à estanqueidade (BRIFFETT, 1990).

A perda de estanqueidade facilita a entrada de agentes agressivos que podem se tornar patológicos, comprometendo o desempenho esperado do sistema e provocando sua deterioração. A estanqueidade pode ser obtida através da prescrição de fachadas com revestimentos pouco porosos ou ainda utilização de barreiras contra a penetração da lâmina de água, como pingadeiras, molduras, cimalthas, peitoris e frisos (SILVA, 2014).

Com relação ao conforto térmico e acústico, mesmo que não seja projetado especificamente para este fim, o revestimento de argamassa contribui para o isolamento térmico e acústico do sistema de vedações verticais.

O estudo de Rivero (1986 apud CARNEIRO, 1993) mostra que as paredes com revestimento em argamassa apresentaram menores valores de transmitância térmica, que expressa a capacidade da transmissão de calor através de um meio, comparadas com as paredes sem revestimento. O mesmo autor destaca ainda que o teor de umidade é outra variável importante, pois à medida que esta aumenta, cresce também a quantidade de calor transmitido.

Além disto, as características do acabamento decorativo também influenciam o desempenho térmico das fachadas. Quanto mais clara e brilhante for a superfície, menor será a absorção e maior a reflexão, contribuindo para o conforto térmico (CASTRO *et al.*, 2003).

Com relação ao desempenho acústico, o estudo de Raes (1953 apud CARNEIRO, 1993), mostra que o revestimento de argamassa contribui para a isolamento sonora, através do aumento do índice de redução sonora. Este efeito é notável em paredes delgadas de alvenaria, sendo desprezível em paredes grossas.

Com relação à segurança contra incêndio, o sistema de revestimento, que está relacionado ao sistema de vedações verticais, deve dificultar a ocorrência de inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e não gerar fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio (ABNT NBR 15575-4, 2013).

Os resultados do estudo realizado por Berto (1988 apud CARNEIRO, 1993), mostraram que as paredes com revestimento em argamassa, em comparação com as sem revestimento, apresentaram um tempo de resistência ao fogo maior, considerando os aspectos de integridade, estanqueidade e isolamento térmica.

Com relação à função estética, relacionada ao conforto visual, essa assume cada vez mais importância. Num cenário em que a evolução tecnológica tem tido um ritmo de desenvolvimento inimaginável, é “a imagem que vende”. Para isto, o sistema de revestimento deve respeitar algumas exigências como: planeza geral e localizada, verticalidade, retidão das arestas, sem defeitos de superfície e homogeneidade de cor e brilho (SILVA, 2013).

Para que ocorra o desempenho completo do sistema, estas quatro funções (estanqueidade, conforto térmico e acústico, segurança contra incêndio e estética) devem ser atendidas. Pode haver destaque para uma ou outra função em situações específicas. Por exemplo, a segurança contra incêndio é importante em museus e bibliotecas; e o desempenho acústico é importante em teatros e estúdios de música.

2.1.2 Propriedades do sistema de revestimento de argamassa

A escolha do sistema de revestimento de argamassa deve considerar a compatibilidade entre as camadas, as condições de utilização e os acabamentos decorativos que se pretendem alcançar. Para tanto, a argamassa, em seu estado endurecido, deve atender a um conjunto de propriedades: aderência, deformabilidade, permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade (CONSOLI, 2006).

A aderência é a propriedade do revestimento em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface substrato-revestimento (BAÍA; SABBATINI, 2000). Ela depende da interação entre o substrato e o revestimento de argamassa, sendo resultante de outras três propriedades: resistência de aderência à tração, resistência ao cisalhamento e extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível a ser unida) (CARASEK, 2007).

A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco (retenção de água e plasticidade) e no estado endurecido (resistência mecânica e deformabilidade), dos procedimentos de execução do revestimento (energia de aplicação e condições climáticas durante a execução), e das características da base e da sua limpeza superficial (TEMP, 2014).

A deformabilidade é a capacidade de absorver deformações, propriedade do revestimento de deformar-se sem ruptura ou através de microfissuras imperceptíveis, quando os esforços atuantes ultrapassam o limite de resistência à tração do material (SABBATINI, 1990). É a característica que os revestimentos de argamassa devem possuir a fim de absorver deformações intrínsecas como retrações, expansões térmicas e higroscópicas, e deformações da base de pequena amplitude, sem apresentar fissuração visível e sem desagregar (ANTUNES, 2010).

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pela camada de argamassa, que é um material poroso e permite a percolação desta, tanto no estado líquido como no vapor. É uma propriedade bastante relacionada ao conjunto base-revestimento. O revestimento deve ser estanque à água, impedindo sua percolação (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Ao contrário da estanqueidade à água, é relevante que o revestimento de argamassa externo seja o mais permeável possível ao vapor de água para favorecer a secagem da umidade absorvida. Esta característica é fundamental para que a água da chuva absorvida pelas paredes possa ser mais tarde transmitida ao exterior, quando as condições atmosféricas permitirem. Desta maneira, um revestimento é considerado ideal quando consegue a melhor relação entre a impermeabilização à água e a permeabilidade ao vapor de água (SILVA, 2013).

A resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de suportarem as ações de diferentes naturezas. Esta propriedade depende tanto do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada como da técnica de execução, a qual deve buscar a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento. A resistência mecânica

aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento (BAÍA; SABBATINI, 2000).

A resistência mecânica do revestimento deve ser sempre decrescente desde a primeira camada até a mais externa, a fim de evitar uma movimentação diferencial entre o revestimento e a base, o que afeta a aderência (BAÍA; SABBATINI, 2000).

A durabilidade é a capacidade de o sistema de revestimento desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 15575-1, 2013). Essa propriedade está relacionada às características do sistema de revestimento (projeto, materiais e execução), aos agentes de degradação a que estará submetido ao longo de sua vida útil e às ações de manutenção realizadas. Esses fatores serão explanados ao longo do Capítulo 3.

2.2 O SISTEMA DE REVESTIMENTO TRADICIONAL

O sistema de revestimento tradicional é o aderido, constituído por diversos elementos descritos no Quadro 2 (NBR 13529 (ABNT, 2013); NBR 13755 (ABNT, 2017)).

O acabamento decorativo mais utilizado atualmente no Brasil em fachadas externas é a pintura sobre revestimentos de argamassa inorgânica. Normalmente, esse tipo de pintura é empregado pelo seu baixo custo, utilizando mão de obra pouco qualificada, pois é um procedimento de simples execução, que proporciona uma relação custo benefício muito acessível em contrapartida a seu desempenho satisfatório (BREITBACH, 2009).

Entretanto, é importante ressaltar o fato de que, no Brasil, as tintas são produzidas com a mesma formulação para serem comercializadas e aplicadas em qualquer ponto do território nacional. Frente à enorme diversidade biológica e climática do país é compreensível que estas tintas apresentem desempenho desigual e insatisfatório nas diferentes regiões, o que leva à degradação prematura e frequentes serviços de limpeza e aplicação de nova pintura (BREITBACH, 2009).

Por estas razões, o sistema de revestimento estudado neste trabalho será o sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura.

Quadro 2 – Elementos do sistema de revestimento

Elemento	Composição	Função
Base ou substrato	Concreto armado Alvenaria de blocos cerâmicos Alvenaria de blocos de concreto Alvenaria de blocos de concreto celular Alvenaria de blocos sílico-calcáreos	Superfície sobre as quais são aplicadas as camadas de revestimento
Chapisco (Preparação da base)	Argamassa de cimento e areia, podendo ou não conter aditivos (chapisco)	Uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento
Emboço (Corpo do revestimento)	Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento	Cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou acabamento decorativo, ou que se constitua no acabamento final
Reboco (Fina camada)	Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento	Cobrir o emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final
Acabamento decorativo	Tinta ou placa cerâmica aderida com argamassa colante e rejuntada com argamassa de rejuntamento	Além da função estética, confere propriedades para a fachada como resistência à penetração de água, isolamento e limpabilidade, etc.
Juntas	Espaço ou abertura regular entre duas superfícies podendo ou não ser preenchido por selantes ou outro material de propriedades específicas	Subdividir o revestimento para aliviar tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento
Detalhes construtivos	Rufos, algerozes, beirais, peitoris, pingadeiras, molduras, cornijas, etc.	Sua principal função é direcionar o fluxo da lâmina d'água que escorre sobre a fachada, afastando-a da mesma
Reforço	Telas	Suportar o excesso de carga; atenuar os efeitos de retração da argamassa; e atenuar o aparecimento de fissuras

Fonte: ABNT NBR 13529 (2013); ABNT NBR 13755 (2017)

2.3 RESUMO

O desempenho de um sistema está relacionado ao atendimento das exigências dos usuários, sob as condições de exposição a que ele estará submetido durante o uso.

No caso do sistema de revestimento de fachadas, as principais exigências estão relacionadas à estanqueidade, desempenho térmico e acústico, segurança contra incêndio e estética. Para tanto, ele deve atender a um conjunto de propriedades: aderência, deformabilidade, permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

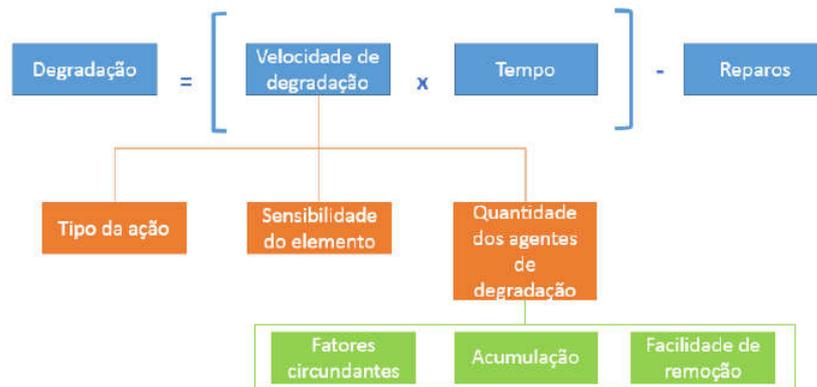
No Brasil, o sistema mais utilizado para fachadas é o aderido de argamassa com acabamento em pintura, devido, principalmente, ao seu baixo custo e simplicidade de execução. Ele é composto pelas seguintes camadas: base, chapisco, emboço, reboco (pode ou não existir) e pintura. Além destes, é composto por juntas, detalhes construtivos e reforços.

3 DEGRADAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

A degradação de um elemento ou sistema ocorre quando há uma queda de desempenho devido à ação de algum agente de degradação. É um processo natural e inexorável, que se inicia logo após a conclusão da construção da edificação (DIAS *et al.*, 2014).

O fenômeno de degradação pode ser entendido pelo fluxograma da Figura 3. A degradação é proporcional à velocidade do processo e à idade do sistema, podendo ser reduzida com a realização de reparos ou manutenções. A velocidade do processo será condicionada pelo tipo da ação, sensibilidade do elemento e quantidade dos agentes de degradação. Sendo a quantidade dependente do meio em que o elemento está inserido, da acumulação de efeitos e da facilidade de remoção dos agentes, por exemplo, caso se possa interromper ou remover a origem dos mesmos (HERMANS, 1995 apud NASCIMENTO, 2016).

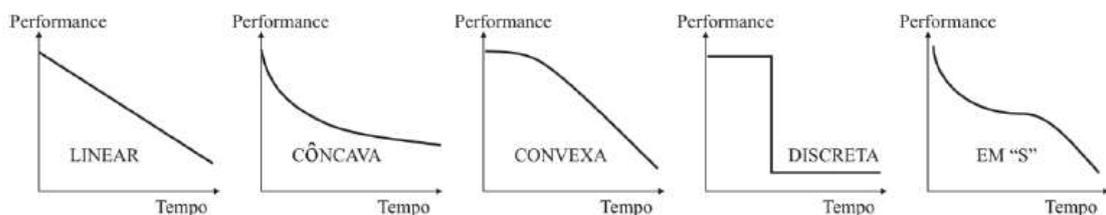
Figura 3 – Fatores que influenciam no processo de degradação



Fonte: Nascimento (2016, adaptado de HERMANS, 1995)

As mudanças no edifício causadas pela exposição contínua a agentes de degradação levam a uma perda progressiva do desempenho global dos mesmos e de seus componentes (FLORES-COLEN *et al.*, 2010). Essa queda de desempenho pode ser representada graficamente por meio de curvas de degradação, que podem assumir diversas formas (Figura 4) em função dos mecanismos de degradação, descritas a seguir (SHOHET *et al.*, 1999; GASPAR, 2009).

Figura 4 – Curvas de degradação



Fonte: Shohet *et al.* (1999); Gaspar (2009)

A **curva 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 eflorescências.

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.

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 recalques da 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.

Os fatores que influenciam o fenômeno da degradação, no caso, do sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura, podem ser divididos em: extrínsecos (relacionados com as características do meio em que o sistema está inserido) e intrínsecos (relacionados com as características do próprio sistema, à forma construída) (PETRUCCI, 2000; POYASTRO, 2011).

3.1 FATORES EXTRÍNSECOS

Os fatores extrínsecos estão relacionados com as características do meio em que está inserido o sistema de revestimento. Eles podem ser divididos em dois grupos: os relacionados ao clima (umidade, temperatura, ventos, chuva dirigida) e os relacionados ao entorno da edificação (distância do mar, proximidade de poluentes, ação de animais e vandalismo).

3.1.1 Agentes climáticos

Os agentes climáticos (umidade, temperatura, insolação, ventos, precipitação) são os principais agentes de degradação das fachadas, sendo fundamental o entendimento de sua influência sobre as manifestações patológicas. Nos 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). Eles podem ser definidos em:

- **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).

Duracrete (1999) estabelece dimensões das extensões horizontais e verticais para cada um deles, expressos no Quadro 3.

Quadro 3 – Dimensões do clima

Clima	Extensão horizontal	Extensão vertical
Macroclima ou clima regional	1 - 200km	1m – 100km
Mesoclima ou clima local	100m – 10km	0,1m – 1km
Microclima ou clima no entorno da edificação	0,01m – 100m	0,01m – 10m

Fonte: Duracrete (1999)

A maioria dos estudos de durabilidade trabalha na dimensão macroclima, utilizando dados oriundos de estações meteorológicas, com variáveis de clima em grande escala, considerando-se grandes áreas e períodos de tempo. Isso quer dizer que não se considera o clima no entorno da edificação ou estrutura, ou o microclima. A modelagem realizada com esse tipo de abordagem leva a modelos pouco precisos, uma vez que o microclima rege os processos de degradação (MATOS; LIMA, 2006).

As condições ambientais influenciam no desempenho do sistema de revestimento seja durante sua execução seja durante sua vida útil. Durante a execução, as altas temperaturas, insolação e ventos aumentam a perda de água das argamassas (chapisco, emboço e reboco) para a base, por sucção, e para o meio ambiente, por evaporação. Por outro lado, a alta umidade relativa do ar contribui para redução destas perdas. A avaliação de desempenho em condições ambientais de laboratório serve apenas como uma referência, porém não reflete o desempenho na prática, sendo necessários ensaios no local para avaliar o desempenho real dos materiais (SILVA, 2003).

Além das características do clima, o tipo de ação dos agentes de degradação, assim como a sua duração ao longo do ano e incidência para cada orientação da fachada, as particularidades de projeto e execução de cada sistema de revestimento e as condições de vizinhança, poderão resultar em desempenhos distintos para as fachadas de uma mesma edificação, diante das diversas variáveis às quais os edifícios são submetidos (CERQUEIRA, 2018).

Nos itens seguintes é explanada a ação dos principais agentes climáticos: umidade, temperatura, vento e chuva dirigida.

3.1.1.1 Influência da umidade

A água é o principal agente de degradação de um amplo número de materiais de construção, dentre eles os revestimentos de argamassa. A maior ou menor incidência de chuvas, bem como a umidade relativa do ar comandam a presença e disponibilidade de água para que as reações de degradação possam acontecer (LIMA *et al.*, 2005).

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 (PEREZ, 1988).

A umidade está relacionada a diversos aspectos (RESENDE, 2004):

- Condições climáticas: intensidade e direção dos ventos, chuva, orientação da fachada, pois as fachadas sombreadas sempre apresentam maior incidência de agentes biológicos;
- Projeto da edificação, sua forma, altura e orientação: os detalhes construtivos podem influenciar na forma pela qual a água da chuva escoar sobre as paredes; a orientação define o grau de exposição do edifício à chuva, ao vento e à radiação solar;

- As regiões de fachada: tais como parapeitos de janelas e platibandas, apresentam maior acúmulo de umidade e conseqüentemente condições mais favoráveis ao desenvolvimento de fungos;
- A constituição da microestrutura dos materiais: os quais podem permitir com maior ou menor intensidade a penetração de umidade e a partir disto desencadear o surgimento de fungos e bactérias nocivas à durabilidade destes materiais e componentes.

As manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa associadas à umidade são várias: acúmulo de sujeira e detritos, eflorescência, criptoflorescência, carbonatação, mudança de cor, biodeterioração, desagregação e descolamento (PEREIRA *et al.*, 2018).

O controle adequado da umidade em uma edificação habitacional é a chave para o controle de muitas manifestações patológicas que abreviam a vida útil, reduzindo seu valor de uso e de troca de uma habitação (ABNT NBR 15575, 2013).

Os materiais a serem usados nos sistemas de revestimento de fachada devem ser estanques à água líquida e, ao mesmo tempo, permitir as trocas de vapor de água. Isto permite que a água da chuva absorvida pelas paredes possa ser mais tarde transmitida ao exterior quando as condições atmosféricas permitirem, para que os teores de umidade dos materiais não favoreçam a ocorrência de manifestações patológicas (SILVA, 2013; ZANONI, 2015).

Além disso, recomenda-se a utilização de barreiras contra a penetração de água, como o uso de detalhes construtivos: pingadeiras, molduras, cimalthas, peitoris e frisos (SILVA, 2014).

3.1.1.2 Influência da temperatura

A temperatura por si só traz pouca informação sobre a influência nos processos de degradação. Sabe-se que em temperaturas maiores, as velocidades de degradação de algumas manifestações patológicas acontecem de forma mais rápida. Estudos de durabilidade devem considerar além dos valores de temperatura, principalmente as variações de amplitudes térmicas diárias, mensais e/ou anuais, devido à influência que exercem nos processos de degradação (LIMA *et al.*, 2005).

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 e de sua técnica construtiva. Essas variações geram tensões que provocam o surgimento de fissuras e descolamentos,

principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (CONSOLI, 2006; SILVA, 2014).

A magnitude das tensões que ocorrerão a partir do carregamento térmico determinará se haverá ou não colapso estático do sistema de revestimento. Já a frequência com que uma determinada variação de tensão ocorre determinará quanto tempo durará a vida útil de um sistema, até que colapse via fadiga (BARBOSA, 2013; UCHÔA, 2015).

A temperatura que a superfície externa de um material atinge é função da temperatura do ar acrescida do efeito da absorção de radiação solar do material. A absorção depende das características do material. Portanto, materiais com maiores coeficientes de absorção solar sofrem mais com a ação da temperatura e da radiação solar (LOPES, 2015).

Além das características do material, a temperatura está relacionada à orientação das fachadas: fachadas não expostas à incidência solar, ou mesmo sombreadas, como as fachadas de orientação cardeal sul, localizadas no Hemisfério Sul, podem receber até 50% menos raios U.V. do que as fachadas diretamente expostas, em determinadas épocas do ano (CHADYSIENE, GIRGZDYS, 2008).

A degradação da superfície pode estar associada também à exposição direta à luz do sol que, através das radiações UV, alteram tintas, revestimentos externos e materiais poliméricos, como os utilizados em juntas de movimentação (GASPAR; BRITO, 2008).

3.1.1.3 Ação do vento e da chuva dirigida

Os ventos são o resultado da diferença de pressão atmosférica. A incidência dos ventos na edificação é dependente de uma série de fatores que vão desde o formato da edificação, sua altura e as condições do entorno (LIMA, MORELLI, 2003).

Os ventos agem de diversas maneiras como agente de degradação. Eles são o meio de transporte de partículas sólidas, sais, microorganismos e agentes poluentes que podem provocar erosão mecânica ou ataque químico e biológico. Podem ainda provocar deformações na estrutura. Sobre a precipitação, ele age formando a chuva dirigida, criando as pressões necessárias para que a chuva projetada na fachada penetre na edificação. Junto com as chuvas, o vento pode intensificar as mudanças bruscas de temperatura, produzindo os choques térmicos (ZANONI, 2015).

A chuva atinge principalmente a parte superior da fachada, assim como as extremidades laterais, através da atuação simultânea do vento. Após o impacto da chuva dirigida sobre a fachada do edifício, os fenômenos que ocorrem na superfície são: respingo, ressalto, adesão, espalhamento, formação de filme, escoamento, evaporação, absorção das gotas de chuva e distribuição da umidade na parede. A chuva dirigida tem grande importância nos processos de molhagem e secagem das superfícies porosas, já que é uma das fontes mais importantes de umidade para as fachadas de edifícios (ZANONI *et al.*, 2014).

A chuva dirigida, também chamada por alguns autores de chuva incidente, é a quantidade de chuva que passa por um plano vertical (STRAUBE; BURNETT, 1997 apud ESTRELA; LIMA, 2009). A força com que as gotas de chuva incidem sobre uma superfície vertical está diretamente relacionada com a intensidade do vento durante a precipitação. Em situações em que não há vento, as gotas de chuva cairiam verticalmente sobre o solo, e a chuva dirigida seria nula. Foi definido o DRI (Driving Rain Index) ou ICD (Índice de Chuva Dirigida) como sendo o produto da velocidade do vento pela quantidade de precipitação, que ocorrem simultaneamente, Equação 1 (LACY, 1977; SABATTINI, 1988; SILVA; GIRALT, 1995 apud ESTRELA; LIMA, 2009):

$$DRI = \frac{V \times P}{1000} \quad (1)$$

Onde: DRI é o índice de chuva dirigida;

V é a velocidade média anual do vento (m/s);

P é o total de precipitação anual (mm).

De acordo com o valor do DRI, pode-se classificar o local quanto à exposição da edificação. Essa classificação foi proposta por Lacy (SILVA e GIRALT, 1995) e posteriormente acrescentada mais uma faixa por Chand & Bhargava (2002) ao confeccionarem um mapa de chuva dirigida para a Índia (Estrela; Lima 2009) (Quadro 4).

Quadro 4 – Faixas de agressividade da chuva dirigida com base na metodologia de Lacy

Índice de chuva dirigida – DRI	Nível de exposição
DRI < 3	Exposição protegida
3 < DRI < 7	Exposição moderada
7 < DRI < 11	Exposição alta
DRI > 11	Exposição severa

Fonte: Silva, Giralt (1995); Chand, Bhargava (2002)

No entanto, este índice é uma variável complexa, pois nem sempre um baixo DRI corresponde a baixas quantidades de chuva na realidade, porque, no momento da chuva, a velocidade do vento é significativamente maior. Além disto, este índice depende principalmente da topografia e do clima da região em estudo (LIMA, MORELLI, 2005).

A orientação da fachada em relação à quantidade de chuva carregada por um vento pluvial predominante é importante, pois fachadas voltadas para ventos predominantes de uma determinada região receberão maiores quantidades de chuva (POYASTRO, 2011).

No entanto, a orientação crítica da fachada é determinada pela combinação da chuva incidente e da radiação solar (secagem). Pois, 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 (FREITAS, 2011).

3.1.2 Entorno da edificação

O entorno da edificação (vegetações, construções vizinhas, relevo) irá influenciar a maneira como os agentes climáticos (vento, umidade, temperatura, insolação, chuva dirigida) irão atuar sobre o sistema de revestimento das fachadas.

O próprio edifício age como um obstáculo ao fluxo de vento, modificando seu padrão. Além disso, a ação do vento, isolado ou associado à água, está relacionada com o perfil do terreno e das construções onde o edifício está inserido. A morfologia urbana é determinante do comportamento dos fluxos de ar, que podem operar independentes das correntes (PETRUCCI, 2000). A construção de um novo edifício pode alterar completamente as condições existentes da incidência de vento nas fachadas, alterando também a incidência de chuvas e a deposição de partículas (LIMA; MORELLI, 2003).

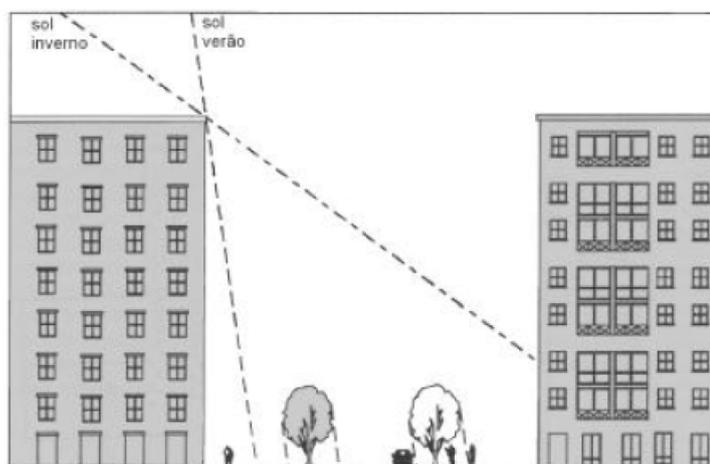
A presença de construções ou vegetações no entorno da edificação, além de alterarem o fluxo dos ventos, dependendo de suas características, seu tamanho e localização, podem gerar regiões com excesso de sombreamento, contribuindo para a manutenção de um ambiente úmido, favorável à proliferação dos microorganismos. No caso de fachadas com materiais reflexivos como vidro, podem provocar um excesso de insolação (POYASTRO, 2011; CARVALHO, 2014). A Figura 5 ilustra uma situação teórica de sombreamento.

Chai (2011) classifica os edifícios em duas situações de entorno:

- **normal**, para edifícios em contextos urbanos densos, protegidos por outras construções, pela topografia ou por vegetação do lado dos ventos;

- **severa**, para situações de edifícios localizados em descampados ou em cruzamento de vias.

Figura 5 – Exemplo de sombreamento devido ao entorno edificado



Fonte: Mascaró (1996 apud PETRUCCI, 2000)

Além da presença de construções e vegetações no entorno da edificação, a localização da edificação em relação à distância do mar, à proximidade de poluentes e aos agentes bióticos, exercerá influência no fenômeno da degradação do sistema de revestimento.

3.1.2.1 Distância do mar

A localização de cada edifício tem grande influência na sua durabilidade e manutenção, sobretudo devido às condições ambientais envolvidas, como é o caso dos edifícios situados na zona costeira, os quais estão sujeitos a uma maior e mais rápida deterioração comparados aos localizados no interior urbano (BOTO, 2014).

Isso ocorre porque a distância do mar influenciará a ação do efeito dos ventos, geralmente fortes, carregados de umidade, transportando sais que atacam em maior ou menor grau todos os materiais de construção (FERREIRA, 2004).

Em relação à distância do mar, Ferreira (2004) classificou os edifícios em três condições:

- **normal**, para as situações de edifícios localizados a mais de 5 km da linha da costa;
- **desfavorável**, para as situações de edifícios localizados em zonas até 5 km da costa ou sob influência direta de ventos dominantes soprados do mar;
- **incidência direta**, para edifícios localizados a menos de 1 km da linha da costa.

3.1.2.2 Proximidade de poluentes

Os poluentes podem se originar de diferentes fontes. Nas cidades urbanas, eles se originam especialmente das emissões do tráfego de veículos nas proximidades de cada edifício. Os poluentes são depositados nas superfícies dos edifícios por deposição úmida (através da chuva) ou seca, direto do ar. A deposição ocorrerá em função do tamanho das partículas, da situação dos ventos e das características da superfície do material. Além de simplesmente depositados, eles podem se encontrar aderidos ao revestimento, sendo sua eliminação feita com limpeza química ou física (LERSCH, 2003).

De acordo com Gaspar (2009), mesmo que não seja realizada a medida quantitativa da poluição, este parâmetro pode ser avaliado de forma qualitativa, sendo a degradação mais desfavorável em função da quantidade de tráfego. Gaspar (2009) classifica os edifícios em duas condições:

- **corrente**, para situações de edifícios em meio urbano com tráfego reduzido a moderado (zonas residenciais fora dos eixos principais viários);
- **desfavorável**, para situações de edifícios junto ou próximos a vias urbanas principais.

3.1.3 Ação de agentes bióticos

A degradação pode ser resultante da ação de agentes abióticos e bióticos. Os abióticos são os discutidos nos itens anteriores como temperatura, umidade, ventos e chuva dirigida. Os agentes bióticos estão relacionados aos organismos vivos que podem ser micro ou macro-organismos.

Os microorganismos são os fungos, bactérias, algas e líquens que podem provocar diversas manifestações patológicas como as manchas e a degradação dos revestimentos. O teor de umidade da superfície é o mais importante parâmetro na determinação do padrão de crescimento dos organismos, pois depende das condições climáticas locais e estação do ano, depende também da localização da edificação em regiões mais protegidas da ação do vento. Teores elevados de umidade proporcionam maior crescimento de microorganismos (BREITBACH, 2009).

Em macro escala, alguns animais podem causar degradação nos sistemas de revestimento, como formigas, cupins, ratos e aves, como o pombo.

Os pombos são aves mansas que se encontram em grande número nos centros urbanos, onde se adaptaram muito bem, devido a vários fatores, dentre eles a facilidade de encontrar

alimento e abrigo. Quando em grande quantidade em um determinado local, suas fezes e suas penas podem ocasionar diversos problemas como o entupimento de calhas, apodrecimento de forros de madeira, degradação de elementos metálicos devido à acidez de suas fezes e sujidades nas fachadas (BONINI, 2013).

Além do desgaste provocado pelos agentes climáticos e pelos animais, a degradação pode ser proveniente de atos de vandalismo. O vandalismo é o ato humano intencional nas construções (pichações e grafites desordenados, quebra de elementos da fachada), comum em locais que não estão em uso e com segurança reduzida (MÜLLER, 2010).

3.2 FATORES INTRÍNSECOS

Os fatores intrínsecos estão relacionados com as características do próprio sistema, à forma construída. Que por sua vez está relacionada às características das etapas de projeto, execução, uso e manutenção e aos materiais utilizados.

3.2.1 Características de projeto

Na fase de projeto, os fatores de degradação podem estar relacionados a todos os aspectos ligados à concepção da edificação, desde a falta de coordenação entre projetos, escolha de materiais inadequados, até a negligência quanto a aspectos básicos como o posicionamento de juntas de dilatação e telas metálicas (SILVA, 2001).

O gasto direcionado a uma atividade realizada sem planejamento é superior ao de uma adequadamente projetada. Orientações em como elaborar fachadas têm o objetivo de oferecer margens de segurança para reduzir a ocorrência de manifestações patológicas, devendo-se considerar os seguintes parâmetros (BARROS; SABBATINI, 2001):

- natureza e características da base: cada tipo de substrato apresenta comportamentos diferentes diante de diversas solicitações;
- características das camadas constituintes: devem ser consideradas as características dos materiais empregados, espessuras e técnicas utilizadas para execução;
- solicitações de obra e durante a vida útil: as camadas do sistema devem apresentar características mecânicas que permitam sua integridade e capacidade em resistir às ações das intempéries sem alteração de sua superfície;

- geometria dos painéis: considerar as corretas dimensões das juntas presentes na fachada, evitando-se, assim, o surgimento de problemas patológicos decorrentes de ausência ou mau dimensionamento das mesmas.

Paredes contínuas requerem uma atenção especial nas especificações de projeto, pois são áreas mais propensas a apresentar manifestações patológicas, principalmente as fissuras. A continuidade ou descontinuidade do sistema é um dos fatores determinantes no surgimento de manifestações patológicas em fachadas, e está relacionada à presença ou não de aberturas e juntas. Também são pontos críticos do sistema, trechos em balanço ou em curva, e fachadas com grande incidência de agentes climáticos (insolação, sombreamento, ventos e chuva dirigida) (BAUER *et al.*, 2015).

A arquitetura moderna, ao privilegiar as superfícies lisas e deixar de utilizar muitos detalhes arquitetônicos e ornamentos de fachadas, como beirais, peitoris de janelas, pingadeiras, rebaixos e saliências, tão presentes na detalhada arquitetura das construções antigas, contribuiu para o agravamento de problemas como manchamentos e infiltração de água (BRIFFETT, 1990; BREITBACH, 2009; POYASTRO, 2011).

Os beirais podem conferir proteção considerável às fachadas contra a ação da chuva. Isso dependerá da altura da fachada que o beiral se destina a proteger, da inclinação da chuva dirigida e das demais proteções existentes. Os peitoris, as pingadeiras e os arremates de topo de platibandas destinam-se a direcionar o fluxo de água sobre a fachada, impedindo a entrada da água sobre os elementos (FERREIRA; BRITO, 2007).

Os elementos que criam reentrâncias ou saliências nas fachadas, se por um lado se constituem sempre em base para o acúmulo de sujeiras, por outro lado contribuem para o controle de fluxos de água da chuva, administrando o processo de lavagem dos panos (LERSCH, 2003).

De um modo geral, um revestimento deve ter poucas reentrâncias e saliências de modo a permitir que a água das chuvas faça a lavagem das fachadas e não origine manchas de escorrimentos de poeiras e poluição. Em todos os elementos horizontais devem ser previstas pingadeiras na face inferior para impedir que as águas pluviais escorram pela superfície e originem a fixação de fungos e líquens (FERREIRA; BRITO, 2007).

A porosidade e a rugosidade dos materiais utilizados nos revestimentos de argamassa são parâmetros de influência no estabelecimento e crescimento de microorganismos, que estão fortemente ligados à presença de umidade. A porosidade dos materiais permite a absorção e

retenção de água. A rugosidade facilita a retenção e adesão de microrganismos à superfície (BARBEROUSSE *et al.*, 2007).

No entanto, apesar de superfícies rugosas serem mais susceptíveis ao depósito e adesão de partículas de sujidade, elas provocam o espalhamento do fluxo de água, permitindo uma distribuição mais homogênea e diminuindo os desgastes superficiais, evitando escorrimentos concentrados e irregulares, característicos de superfícies lisas (POYASTRO, 2011).

3.2.2 Especificação de materiais

Com relação à especificação dos materiais, deve-se optar por materiais que cumpram com as especificações e recomendações da normalização brasileira, ou, quando da sua inexistência, de normas internacionais e pesquisas já realizadas (SILVA, 2001). A escolha de materiais inadequados pode aumentar a velocidade do processo de degradação e, conseqüentemente, diminuir a durabilidade dos elementos, especialmente quando o sistema enfrenta condições climáticas severas (YIU *et al.*, 2007).

Para o sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura, os principais componentes são as argamassas e a tinta. A argamassa (chapisco, emboço ou reboco) é a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições (ABNT NBR 13755, 2017).

3.2.2.1 Agregado

O agregado é o principal componente das argamassas. Esses materiais granulares não estão envolvidos, em geral, na reação de endurecimento da argamassa, mas são chamados de "esqueletos" dos sistemas das argamassas, com influência direta em suas propriedades, como resistência mecânica e retração (SANTOS *et al.*, 2018).

Durante sua escolha devem-se considerar além da sua proporção na mistura, outras características como distribuição granulométrica, superfície específica, massa unitária, índice de vazios e forma dos grãos, que influenciam nas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco (consistência, trabalhabilidade, retenção de água e adesão inicial) como no estado endurecido (resistência mecânica, capacidade de deformação, permeabilidade, retração e aderência) (MOURA, 2007).

O uso excessivo de areias grossas prejudica a trabalhabilidade, reduz a extensão de aderência e compromete o envolvimento do grão pela pasta de cimento. Por outro lado, areias finas em

abundância aumentam o consumo de água, e podem provocar fissuração na argamassa devido à retração. Portanto se faz necessária uma distribuição granulométrica adequada dos agregados para impedir que problemas como os citados ocorram (ANTUNES, 2010).

Quanto mais uniforme for a distribuição granulométrica, maior é o volume de vazios e, conseqüentemente, maior a porosidade da argamassa resultante. Isto implica que uma distribuição granulométrica contínua é a mais indicada para argamassas mais resistentes, pois os vazios entre os grãos maiores são preenchidos pelos grãos menores (SANTOS *et al*, 2018).

Com relação à forma, os agregados angulares tendem a aumentar a resistência mecânica e a densidade aparente das argamassas, reduzindo simultaneamente a porosidade, a absorção de água e a sucção capilar (PAVIA; TOOMEY, 2008), embora seja necessário um maior consumo de água para uma consistência desejada (ANTUNES, 2010).

O agregado deve estar livre de contaminantes. A presença de aglomerados argilosos, pirita, mica e matéria orgânica provocam a formação de vesículas. Assim como a oxidação de pirita, as concentrações de ferruginosas e os sais higroscópicos na presença de umidade causam a expansão nos revestimentos (CONSOLI, 2006).

3.2.2.2 Aglomerante

Os principais aglomerantes utilizados são a cal e o cimento. Argamassas simples que possuem como aglomerante apenas o cimento, apresentam boa resistência mecânica, porém são muito rígidas, favorecendo a fissuração devido à baixa capacidade de absorção das deformações. Nas argamassas mistas, de cimento e cal, a cal confere plasticidade no estado fresco e diminui o módulo de deformação no estado endurecido (OLIVEIRA, 2014).

O cimento é responsável pela ligação entre as partículas e pelo ganho de resistência mecânica das argamassas. As principais propriedades do cimento que influenciam as propriedades das argamassas são a finura e a composição química. Quanto maior a finura, maior é sua reatividade e conseqüentemente, maior o risco de retração por secagem, principalmente nas primeiras 24 horas. Com relação à composição química, os teores de C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF influenciarão também a velocidade do ganho de resistência (BAUER, 2019).

A cal influencia as propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, a substituição do cimento por cal hidratada na argamassa melhora sua coesão e sua retenção de água. Quando maturada, permite um menor consumo de água para uma mesma trabalhabilidade. Além disto, aumenta a superfície de aderência, pois como a

argamassa é mais plástica, maior será sua penetração na rugosidade da base. No estado endurecido, a cal aumenta a resistência de aderência em função do aumento da extensão de aderência. Além disso, diminui as resistências à tração e à compressão em função da diminuição do teor de cimento, aumentando a capacidade de deformação do sistema (BAUER, 2019).

A cal utilizada deve estar completamente hidratada. Caso contrário, os óxidos presentes na cal, de cálcio ou de magnésio, poderão sofrer reações de hidratação após a aplicação com o inconveniente de aumento de volume, o que provoca empolamento do revestimento e consequente descolamento (CONSOLI, 2006).

Os argilominerais, também conhecidos como saibro, são utilizados como substitutos da cal hidratada visando garantir a plasticidade com custo mais reduzido. Todavia, devem ter seu uso evitado pela dificuldade no seu controle da qualidade, trata-se de um material de difícil definição, em função da variabilidade de composição, decorrente da heterogeneidade de suas jazidas (PAIVA, 2008).

Além da especificação dos aglomerantes, deve-se ter atenção com a dosagem. Traços ricos em cimento são as causas descritas como sendo as responsáveis pelas grandes retrações dos revestimentos. Por outro lado, traços pobres não desenvolvem resistência mecânica e de aderência, provocando descolamento e desagregação (MARTINS, 2008).

3.2.2.3 Aditivos e adições

Os aditivos são produtos químicos adicionados em pequenas quantidades à argamassa para modificar determinadas propriedades no estado fresco (consistência, plasticidade, retenção de água, tempos de pega, etc.) que se refletirão no estado endurecido (resistência de aderência à tração, módulo de elasticidade, etc.). Muitos são os aditivos empregados atualmente, tais como os incorporadores de ar e retentores de água (SILVA, 2006).

O principal aditivo empregado nas argamassas é o incorporador de ar, que é adicionado com a finalidade de melhorar a plasticidade, permitindo a redução de água. O seu funcionamento ocorre pela inclusão de bolhas de ar, aumentando a retenção de água da argamassa, reduzindo a exsudação, sendo empregado como substituto da cal (SILVA, 2006).

As adições são definidas como sendo materiais silicosos finamente moídos, podendo ser adicionados a argamassas para somar ou substituir parte do cimento com o objetivo de melhorar as características da argamassa quer no estado fresco quer no estado endurecido. No

estado fresco, há uma melhoria da trabalhabilidade e plasticidade. No estado endurecido, obtêm-se ganhos na resistência, redução de permeabilidade e aumento na durabilidade, devido ao preenchimento e refinamento dos poros (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As adições podem ser classificadas como inertes ou reativas, a depender da ação produzida na argamassa. As reativas, como as pozolanas (sílica ativa, argila calcinada, entre outras) reduzem a permeabilidade da argamassa através das reações pozolânicas. As inertes, como o filer calcário, contribuem na redução da porosidade, preenchendo os vazios dos poros capilares, possibilitando uma estrutura com maior densificação. Contudo, aumentam o consumo de água e podem ocasionar pulverulência nas argamassas (CAVALCANTI, 2006).

3.2.2.4 Tinta

A escolha da tinta deve considerar as ações a que ela estará exposta e a vida útil esperada. Como a qualidade da tinta não é muito valorizada na oportunidade da aquisição do imóvel, o construtor acaba utilizando um produto de custo menor, sem fungicida e/ou algicida, que não é capaz de resistir aos ataques microbiológicos ao longo do tempo. Os efeitos degradantes sobre o filme seco comprometem sua vida útil chegando a prejudicar a estética, conferindo aspecto de sujeira (BREITBACH, 2009).

Além da resistência aos ataques microbiológicos a tinta especificada deve atender aos seguintes requisitos (BREITBACH, 2009):

- Adesão ao substrato: esta é a propriedade mais importante sem a qual, todas as outras perdem o significado; o tipo de resina utilizada, o nível de sensibilidade à água de ingredientes afinadores e surfactantes, e as condições de preparação prévia do próprio substrato a ser pintado são fatores influentes na adesão.
- Proteção do substrato: proteção do substrato à penetração de água ou umidade vinda do substrato é também crítico na preservação da adesão do filme de tinta, pois pode resultar em estufamento.
- Resistência ao craqueamento: é em função da flexibilidade do filme, que precisa expandir-se e contrair-se com as mudanças de temperatura e umidade, acompanhando as deformações do substrato.
- Resistência à alcalinidade: é importante quando se pinta substratos de alvenaria revestidos a base de argamassas cimentícias que proporcionam substrato muito alcalino, podendo degradar

a resina de tintas látex. O resultado pode ser mudança de cor e deterioração do filme. Dessa forma, faz-se sempre necessária a aplicação de uma demão de selador, para criar uma interface, bem como aguardar os 28 dias de hidratação do cimento. Caso seja necessária a aplicação da tinta num período inferior, é recomendada a aplicação de um fundo preparador.

- Resistência à radiação U.V.: está diretamente vinculada à natureza dos pigmentos, do teor e qualidade da resina utilizada. Pigmentos inorgânicos, que produzem cores de aspecto menos agradável, apresentam maior estabilidade, com menor alteração de cor. Pigmentos orgânicos, que produzem cores de aspecto visual mais agradável, apresentam menor estabilidade, com maior alteração de cor. A ação do U.V. pode provocar a quebra das ligações poliméricas da resina estirenada provocando a calcinação da película externa que será facilmente lixiviada pela água das chuvas, degradando o revestimento. Aditivos absorvedores de U.V. são atualmente utilizados para melhorar o desempenho das tintas látex.

- Resistência à água: é proporcionada pelo filme superficial formado através da estanqueidade gerada, sendo a resina acrílica estirenada e a parafina líquida os principais agentes promotores da hidrorrepelência. O filme de tinta seco deve ser semipermeável, permitindo somente a passagem de vapor.

3.2.3 Execução

Mesmo com um bom projeto, com a especificação e aquisição de materiais de boa qualidade, o desempenho do sistema de revestimento está relacionado diretamente com a formação dos recursos humanos. As mudanças no sistema de produção dependem da capacitação e da adequação dos profissionais envolvidos. Porém, as oportunidades de qualificação profissional diante das novas tecnologias, não se adéquam à realidade do setor (PEZZATO, 2010).

A execução do sistema de revestimento em fachadas precisa atender a uma série de condições para favorecer a qualidade e a produtividade da execução em obra. As condições nas fachadas são mais críticas principalmente por que os serviços são desenvolvidos quase sempre a céu aberto e em condições de segurança desfavoráveis para manuseio dos materiais (MEDEIROS, 1999). Além disso, cronogramas reduzidos para a conclusão do edifício, desejo da conclusão rápida da fachada pelo construtor para caracterizar e valorizar o imóvel, remuneração dos pedreiros por produção (metro quadrado executado) podem acelerar a execução, diminuindo sua qualidade (LUZ, 2004).

A questão relacionada aos prazos de conclusão de obra tem contribuído para a não obediência às especificações do projeto. Alguns construtores ou responsáveis técnicos das obras, apesar de conhecerem a técnica correta para realização de revestimentos duráveis, não o executam devido aos prazos de obra incompatíveis com o necessário para realização de um revestimento de qualidade. Com isso, mudam as especificações de projeto sem a devida autorização do projetista, sem a avaliação das modificações a serem executadas e sem os novos detalhamentos (OLIVEIRA, 2014).

As principais deficiências nesta fase da obra estão relacionadas aos seguintes fatores: qualidade da mão-de-obra, técnicas construtivas inadequadas, colocação sobre suporte não devidamente preparado, aplicação em condições climáticas desfavoráveis, falta de ferramentas apropriadas, controle ineficiente do processo pelo responsável técnico, excesso de água na argamassa, desrespeito dos tempos e procedimentos de cura para cada camada e adição de gesso às argamassas de cimento para acelerar o endurecimento, que, no estado endurecido, provoca reações expansivas na presença de água (CAMPANTE; SABBATINI, 1999; MEDEIROS; SABBATINI, 1999; HAAPIO; VIITANIEMI, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Para minimizar a ocorrência de manifestações patológicas decorrentes desta fase da obra, deve-se prezar pelo controle de qualidade rigoroso dos materiais utilizados e das etapas construtivas, respeitando-se as recomendações normativas. A realização de ensaios prévios e de controle permite avaliar o desempenho de cada etapa do sistema de revestimento. O custo desses ensaios é significativamente pequeno se comparado com os custos advindos de perda de material ou até de futuras ações corretivas, que dependendo da gravidade podem originar demandas judiciais (MARTIN, 2013).

3.2.4 Uso e Manutenção

As etapas para construção de uma edificação são bastante longas e cada uma delas tem suas peculiaridades. No entanto, ao se observar essas etapas, a conclusão que se chega é que nas primeiras fases (concepção, projeto, fabricação dos materiais), a qual leva cerca de 2 anos, é um tempo bastante curto em relação ao uso da estrutura em si. Como a vida útil dessas construções são cerca de 50 anos, é muito comum que manifestações patológicas tenham maior incidência durante a sua fase de uso (HELENE, 1992).

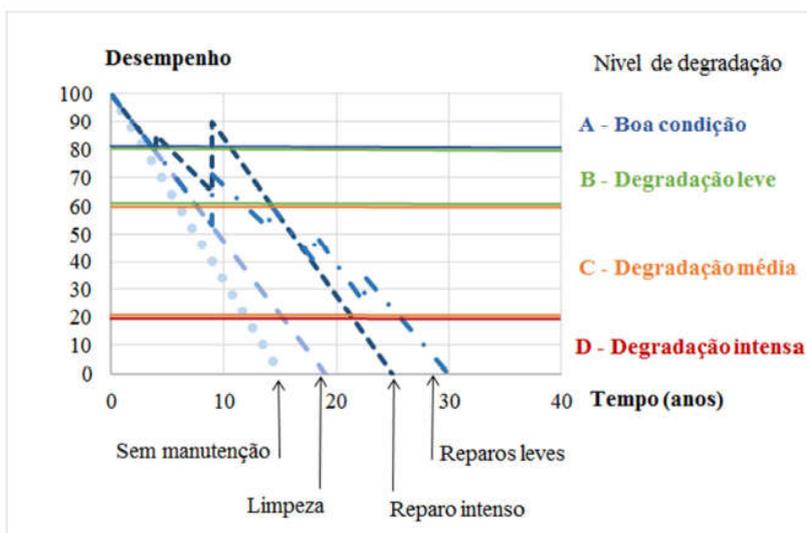
Embora essas duas fases apresentem durações bem distintas, elas sustentam uma relação de interdependência nas quais as decisões assumidas durante a fase de produção influenciam a

capacidade em satisfazer, no decorrer de sua vida útil, as necessidades dos usuários. Porém, grande parte dos responsáveis pela construção dos edifícios procura realizar a obra com o menor custo inicial possível, desconsiderando essa interdependência entre as fases, ignorando o custo global da edificação e preocupando-se exclusivamente com os custos referentes às atividades relacionadas com a produção do edifício (CONSOLI, 2006).

O uso de ferramentas que forneçam suporte para manutenção e reparação de edifícios, com base no conhecimento sobre seu comportamento de degradação, é fundamental porque permitem a otimização e sustentabilidade das atividades de manutenção realizadas durante a vida útil dos edifícios (SILVESTRE; BRITO, 2009). Um plano de manutenção racionalizado é a maneira mais eficaz, do ponto de vista técnico e econômico, para controlar o processo de degradação (FLORES-COLEN *et al.*, 2008).

Mesmo quando o sistema de revestimento é corretamente projetado e executado, o que aumenta sua durabilidade e pode minimizar a periodicidade de operações de manutenção, essas ações devem ser planejadas e implementadas durante a vida útil dos edifícios. A importância dessas ações pode ser notada na Figura 6 (FLORES-COLEN; BRITO, 2010).

Figura 6 – Relação entre estado de degradação e operação de manutenção em fachadas



Fonte: Flores-Colen; Brito (2010)

Quando não é realizada nenhuma ação, a vida útil é menor. Quando manutenções são realizadas, há um incremento no nível de desempenho do sistema e conseqüentemente na sua vida útil, proporcional ao tipo de manutenção realizada.

3.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE FACHADAS

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”.

O entendimento dos aspectos relacionados à degradação das fachadas é um processo complexo, principalmente pelo grande número de agentes envolvidos. O estudo desses fatores e suas influências na redução da vida útil trazem reflexos tanto na fase de projeto quanto na operação das edificações (SOUZA *et al.*, 2018).

Pedro *et al* (2002) classificaram as manifestações patológicas em função de suas origens em: congênitas (originárias da fase de projeto), construtivas (origem relacionada à fase de execução da obra), adquiridas (ocorrem durante a vida útil dos revestimentos) e acidentais (resultam de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade superior ao normal, recalques ou incêndio).

Na maioria dos casos, elas ocorrem devido a erros de projeto, execução incorreta e escolha de materiais inadequados (RODRIGUES *et al.*, 2011; SOLAR *et al.*, 2016)

As patologias ainda podem ser divididas em estéticas e funcionais. A primeira categoria engloba as que afetam a aparência do edifício, sem apresentar riscos à estabilidade e segurança do mesmo, tais como as manchas. Já as funcionais alteram negativamente a integridade dos componentes e sistemas da edificação, podendo comprometer, ainda, sua segurança (FLORES-COLEN, 2009).

As manifestações patológicas que surgem nos sistemas de revestimento, apesar de se manifestarem 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, cujo contato íntimo ou não com os mesmos foi capaz de promover a propagação do dano (ANTUNES, 2010).

No sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura, as manifestações patológicas podem ocorrer na base, no revestimento em argamassa ou na camada de pintura. As manifestações patológicas normalmente observadas são: manchas, eflorescência, fissuras

na argamassa, descolamento da argamassa, pulverulência, descolamento da película de pintura e bolhas e fissuras na pintura (SANTOS, 2018).

Neste trabalho, essas manifestações patológicas foram organizadas em quatro grupos:

- **Manchas:** este grupo compreende as manifestações patológicas que afetam a aparência do revestimento: superficiais, manchas, alterações cromáticas, eflorescências, marcas de drenagem e crescimento biológico;
- **Perda de continuidade:** compreende as manifestações patológicas relacionadas à quebra de continuidade do revestimento de argamassa: fissuras, trincas e falhas de vedação;
- **Perda de aderência da argamassa:** compreende as manifestações patológicas relacionadas à perda de aderência do revestimento de argamassa: pulverulência e descolamentos;
- **Degradação da pintura:** compreende as manifestações patológicas relacionadas à camada de pintura: fissuras, bolhas e descolamento.

3.3.1 Manchas

Alguns defeitos superficiais afetam o desempenho do sistema de revestimento, principalmente do ponto de vista estético: diferenças de tonalidade; superfície irregular (desvios de prumo, nível e planeza) e desgaste superficial (impacto de objetos ou deterioração mecânica) (PEZZATO, 2010). Essas manifestações patológicas não evoluem ao longo do tempo, sendo resultantes, principalmente de falhas na fase de execução, podendo ser prevenidas por um controle de qualidade eficiente das etapas construtivas.

As manchas são caracterizadas por alterações na cor, tonalidade ou brilho de uma determinada região do revestimento em contraste com regiões vizinhas, e exercem grande influência na qualidade visual da fachada (GASPAR, 2009). Na Foto 1 é apresentado um exemplo de alteração cromática.

As manchas são um indicador de degradação e podem estar relacionadas com: umidade, sujidades, ação de microorganismos ou degradação do revestimento.

A umidade pode originar-se da atmosfera na forma de vapor (umidade ambiente) ou líquida (chuva); do solo, em decorrência de impermeabilização ausente ou deficiente; ou do interior da edificação, resultante de vazamentos ou impermeabilização ausente ou deficiente das áreas úmidas (banheiros, áreas de serviço, cozinhas, varandas) (SANTOS, 2017).

Foto 1 – Exemplo de alteração cromática



Fonte: O Autor (2019)

A sujidade está relacionada à deposição de partículas presentes na atmosfera como fuligem e poeira e dependerá dos mecanismos de transporte das partículas (vento, chuva, poluentes, poeira) e as características do revestimento (textura, porosidade) que influenciarão a adesão das partículas (POYASTRO, 2011).

A ação dos microorganismos provoca aceleração do envelhecimento dos materiais e depende de fatores biológicos e climáticos, como o pH, temperatura, luz, umidade e condições nutritivas (GAKLIK, 2012).

As manchas podem ser resultantes ainda de alterações cromáticas decorrentes da degradação da tinta com a ação da radiação U.V. que está diretamente vinculada à natureza dos pigmentos e ao teor, ao tipo e à qualidade da resina utilizada. A ação do U.V. pode provocar a quebra das ligações poliméricas da resina provocando a calcinação da película externa que será facilmente lixiviada pela água das chuvas, degradando o revestimento (BREITBACH, 2009).

Os principais exemplos de manchas são a eflorescência e a biodeterioração. Embora sejam classificadas como estéticas, caso estas manifestações patológicas não sejam tratadas, elas podem, com o tempo, evoluir ou desencadear outras manifestações patológicas afetando a funcionalidade do sistema de revestimento.

3.3.1.1 Eflorescência

O fluxo de água, através de fissuras ou devido à permeabilidade inadequada das argamassas, pode gerar manifestações patológicas como (GOLDBERG, 1994):

- eflorescência: é o efeito mais comum da presença de umidade em revestimentos e apresenta um incômodo estético e de manutenção, porém, sem sérias consequências.

Basicamente, ocorre pela penetração de água nas argamassas e substratos cimentícios, dissolvendo sais solúveis presentes, seja através do subproduto da hidratação do cimento ou originário da presença de contaminações de outras fontes como presença de sais na água ou na areia. Estes sais, ao se depositarem na superfície do revestimento com a evaporação da água, se cristalizam formando depósitos salinos esbranquiçados na fachada;

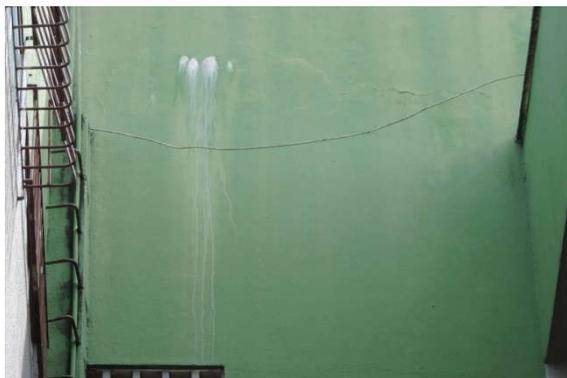
- **criptoflorescência:** em função do bloqueio gerado por superfícies tratadas com hidrofugantes à base de silicone, sais dissolvidos ficam presos atrás da argamassa enquanto o dióxido de carbono e a água evaporam através da superfície permeável ao vapor, permitindo a cristalização interna dos sais. Essas formações de sais exercem uma pressão maior que os cristais de gelo e podem causar fissuras e lascamento;
- **lixiviação de látex:** resíduo de borracha de cor esbranquiçada provenientes de argamassa de cimento Portland modificadas por aditivos polímeros do tipo látex, devido à exposição dessa argamassa a grandes quantidades de água ou devido à remistura após o início de cura.

Embora a eflorescência seja classificada como mancha, a mancha esbranquiçada é apenas um sintoma de sua ocorrência. Deste modo, esta manifestação patológica se enquadraria melhor como uma manifestação patológica de desagregação devido à dissolução dos sais da argamassa na superfície, que com o tempo, se não tratada, aumentam a porosidade da argamassa, deixando-a menos resistente aos esforços solicitados, podendo ocasionar fissuras e descolamentos (SANTOS, 2018).

Na Foto 2 é apresentado um exemplo de eflorescência. Para que ela ocorra são necessários três fatores ocorrendo em conjunto: presença de sais solúveis na argamassa; presença de água para dissolver os constituintes solúveis; e uma força de transporte para conduzir a solução em direção à superfície, a qual pode ser pressão hidrostática, gravidade, ação capilar ou evaporação (ALLAHVERDI *et al.*, 2015). Portanto, a prevenção da eflorescência é possível atuando-se em um desses fatores, como (ANTUNES, 2010):

- a redução do consumo de cimento Portland na argamassa de emboço ou uso de cimento com baixo teor de álcalis;
- não utilização de tijolos com elevado teor de sulfatos, a fim de evitar a formação de substâncias solúveis em água ou produtos expansivos;
- respeito aos tempos e procedimentos de cura das camadas do revestimento; e
- ações visando o combate da umidade.

Foto 2 – Exemplo de eflorescência



Fonte: O Autor (2019)

3.3.1.2 Biodeterioração

A biodeterioração é um mecanismo gerado pela atividade vital de organismos naturais sobre os materiais, com alteração de suas propriedades. A transformação dos materiais e sua interação com o meio inicia-se pela fixação dos microrganismos sobre eles, fornecendo suporte para o desenvolvimento de uma película superficial com aparência esteticamente indesejável denominada de biofilme, composto por produto orgânico que causa danos físicos e químicos (PEREIRA, 2012).

A biodeterioração pode ser ocasionada por macro ou microorganismos. O macroorganismo é qualquer organismo animal ou vegetal cujas dimensões são visíveis a olho nu, com alguns alimentando-se do próprio material onde estão se depositando. Os insetos podem ser incrustantes, ação mais lenta; e perfuradores, com a maioria penetrando no substrato para sua própria proteção (OLIVEIRA, 2002).

Já os microorganismos, ao se desenvolverem, provocam aceleração do envelhecimento dos materiais e dependem de fatores biológicos e climáticos, como o pH, temperatura, luz, umidade e condições nutritivas (GAKLIK, 2012). Os principais são fungos (na ausência de luz e ventilação), algas e bactérias, os quais afetam o material por encontrarem nutriente (alimentam-se de matéria orgânica) e ambiente propício para o desenvolvimento (oxigênio, temperatura e teores de umidade favoráveis), ocasionando manchas no local onde se depositam e biodeterioração da própria argamassa (CARVALHO, 2014).

Essa manifestação patológica ocorre com maior intensidade em fachadas sombreadas. No Hemisfério Sul, as fachadas na direção sul tendem a ser as mais atingidas, devido à fraca insolação e pelo vento frio e úmido proveniente do sul (BREINTBACH, 2009).

Os edifícios pintados em climas tropicais são particularmente sujeitos à descoloração superficial causada pelo crescimento microbiano e, se não controlados, pode levar a outras manifestações patológicas como fissuras, descamação e penetração de água no substrato subjacente (SHIRAKAWA *et al.*, 2011).

Os processos de repintura são frequentemente utilizados na tentativa de solucionar o problema da biodeterioração. De fato, eles podem restaurar a estanqueidade e a estética perdidas pelos paramentos, porém apenas mascarando os efeitos da biodeterioração. A par disso, existe a noção amplamente aceita de que as tintas não apresentam grande durabilidade, e que somente as repinturas frequentes são capazes de manter a boa aparência. Nesse contexto, fica fácil compreender o fato de que os fabricantes de tintas não tenham demonstrado especial interesse na produção de tintas mais eficientes, capazes de resistir à biodeterioração. Reforçando o conceito dominante, de que as repinturas são necessárias, ficava assim garantido o consumo crescente de tintas (BREINTBACH, 2009).

Na Foto 3 são apresentados exemplos de manchas resultantes da biodeterioração.

Foto 3 – Exemplos de manchas decorrentes de biodeterioração



Fonte: O Autor (2019)

3.3.2 Perda de continuidade

As movimentações dos materiais e componentes das edificações civis são inevitáveis e a incompatibilidade entre projetos de arquitetura, estrutura e fundações, normalmente conduzem a tensões que sobrepõem a resistência dos materiais em seções particularmente desfavoráveis, quebrando a continuidade do sistema e originando problemas de fissuras (CONSOLI, 2006).

As fissuras normalmente podem ser originadas de falhas de execução como excesso de água na preparação do material, cura deficitária e degradação por elementos químicos utilizados na

limpeza da fachada. Durante o uso da edificação, podem se originar por retração excessiva do substrato, interface entre materiais distintos, deformações excessivas ou fadiga a ciclos higrotérmicos (MARTIN, 2013).

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. Essas 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 (SILVA, 2014).

As fissuras podem apresentar-se ainda com outras morfologias, como as em forma de teia de aranha decorrentes da retração da argamassa seja por excesso de água de amassamento, dosagem inadequadas, camadas muito espessas ou cura deficitária. Outra fissura bastante recorrente são as fissuras a 45° nos cantos das aberturas resultantes da ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas (SANTOS, 2017).

A fissura pode evoluir para uma trinca, que 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 enquanto as fissuras possuem dimensões inferiores a 1 mm (BARROS; SABBATINI, 2001). Na Foto 4 são apresentados exemplos de fissuras e trincas.

Foto 4 – Exemplo de fissuras (A) e trincas (B)



Fonte: O Autor (2019)

As fissuras afetam principalmente a estanqueidade à água do sistema de revestimento de argamassa. A perda de estanqueidade da fachada pode ser também resultante de falhas de vedação. Elas ocorrem com mais frequência no entorno do vão das esquadrias, devido à corrosão das esquadrias ou falhas na instalação dos contramarcos. Devem ser tratadas, pois podem originar outras anomalias relacionadas à infiltração, como a degradação dos revestimentos internos (ANTUNES, 2010). A Foto 5 ilustra uma falha de vedação.

Foto 5 – Exemplo de falha de vedação



Fonte: O Autor (2019)

3.3.3 Perda de aderência da argamassa

Quando a argamassa perde a sua capacidade de aderência ao substrato sobre o qual foi aplicada (camada subjacente), dá-se o seu descolamento. O descolamento pode ocorrer devido a falhas de aderência entre as camadas ou a ruptura da própria camada de argamassa. Essa é a manifestação patológica mais perigosa e que exige maior atenção, devido aos riscos causados aos usuários, oriundos da queda de materiais (SILVA, 2001).

A quebra sucessiva nas ligações mecânicas (ocorrência de fadiga) entre as diversas camadas do subsistema até que as solicitações mecânicas a que estão sujeitas suplantem as resistências mecânicas das mesmas representa a principal origem dos descolamentos (CAMPANTE, 2001). Essas solicitações têm origem nos movimentos induzidos aos sistemas de revestimentos quer pela estrutura do próprio edifício, ou pelas condições ambientais a que estão expostas (LUZ, 2004).

O sistema de revestimento está sujeito a diversas solicitações de diversas origens, mas as de natureza higrotérmica são as principais responsáveis pelos descolamentos. Essas solicitações

podem ser provenientes de mudanças de temperatura naturais ao longo do dia ou mudanças bruscas, como o choque térmico provocado pela ação da chuva (FIORITO, 1994).

A magnitude das tensões que ocorrerão a partir do carregamento térmico determinará se haverá ou não colapso estático do sistema de revestimento. Já a frequência com que uma determinada variação de tensão ocorre determinará quanto tempo durará a vida útil de um sistema, até que colapse via fadiga (BARBOSA, 2013; UCHÔA, 2015).

As principais causas do descolamento são: estruturais (instabilidade da base e movimentações estruturais), ações naturais (degradação) e falhas de projeto e execução (espessura e rigidez da argamassa, falhas na limpeza e preparo da base, falhas de dosagem, retração, falta de manutenção ou falhas que permitam a entrada ou acúmulo de água) (SANTOS, 2017).

O descolamento representa o final da vida útil do reboco, já que esse deixa de cumprir a sua função de proteção do substrato, o qual fica exposto à ação direta dos elementos atmosféricos, além de causar risco efetivo para a segurança e saúde dos moradores. Além disso, ocorre também a deterioração da qualidade visual da fachada, causando a desvalorização do edifício como um todo (SANTOS, 2018).

Pode ocorrer também o descolamento e afastamento do reboco em relação ao substrato sem que partes desse cedam, o que pode facilmente ser identificado através do som cavo que emite quando percutido. Todavia, esse tipo de descolamento torna-se muito difícil de ser detectado apenas com a inspeção visual, pois sua aparência não demonstra esta manifestação patológica, porém o uso de outras técnicas como a inspeção por termografia ou testes de percussão, pode detectar esse descolamento (SANTOS, 2018).

É necessário analisar em qual camada (reboco, emboço, chapisco ou base) ou em qual interface (reboco/emboço, emboço/chapisco ou chapisco/base) houve a ruptura para um correto diagnóstico e resolução do problema (ANTUNES, 2010).

Na Foto 6 são apresentados alguns exemplos de descolamento.

Outra manifestação relacionada à perda de aderência é a pulverulência ou desagregação da argamassa. Quando o teor de aglomerantes na argamassa é insuficiente, não ocorre a aglutinação dos agregados e, como resultado, haverá a desagregação do revestimento, devido à argamassa não alcançar a resistência mínima necessária. Além da dosagem inadequada de aglomerantes outros fatores podem desencadear a desagregação como o excesso de água de amassamento, teor elevado de finos e cura deficitária (OLIVEIRA, 2014).

Foto 6 – Exemplos de descolamento



Fonte: O Autor (2019)

A pulverulência além de alterar a aparência da superfície do revestimento, denegrindo a estética do edifício, causa alterações extremamente agressivas com o enfraquecimento do revestimento, causando danos que afetam a funcionalidade e reduzem o desempenho da fachada (SANTOS, 2018).

Na Foto 7 é apresentado um exemplo de desagregação.

Foto 7 – Exemplo de desagregação



Fonte: O Autor (2019)

3.3.4 Degradação da pintura

Os processos de degradação, natural e precoce, a que estão sujeitas as superfícies pintadas traduzem-se no aparecimento de diversas anomalias que, devidamente identificadas e tipificadas, permitem quantificar a sua degradação global. Em função das condições de projeto, aplicação, condições de secagem, das condições ambientais e de exposição, surgem diferentes anomalias e inicia-se um processo de degradação irreversível que conduzirá não só

à perda de qualidade visual das superfícies pintadas, mas que também poderá comprometer a função protetora destas (CHAI *et al.*, 2014).

As manifestações patológicas ocorrem de duas maneiras: na interface da película com o substrato de aplicação ou na própria película de pintura, ou numa combinação desses fatores. As principais manifestações são o destacamento, a fissuração e a criação de bolhas na superfície da película de pintura. Elas podem ser provenientes do desgaste natural ou de falhas de projeto ou execução (inadequação das tintas, do substrato, da preparação do mesmo ou do consumo e tempo de secagem entre as camadas) (SANTOS, 2018).

Na Foto 8 são apresentados exemplos de degradação da pintura.

Foto 8 – Exemplos de degradação da pintura



Fonte: O Autor (2019)

O envelhecimento prematuro das pinturas também está vinculado às condições de exposição, aos agentes climáticos, horas e ângulo de exposição, a localização da edificação onde o revestimento se encontra aplicado como zonas costeiras, rurais ou urbanas, são determinantes para durabilidade dos ligantes (BREITBACH, 2009).

Essas interações são complexas e estão interligadas. Por exemplo, emissões industriais e a presença de árvores podem afetar a quantidade de radiação solar que atinge a superfície e,

consequentemente, a temperatura; a localização e o clima influenciam a microbiota e o conteúdo químico do ar que chega às superfícies expostas. Isto torna a análise dos fatores que influem no processo de degradação uma atividade complexa. Pois, além da grande variedade de fatores ambientais envolvidos, é difícil isolar todos estes parâmetros durante investigações de campo em condições reais (GAYLARDE *et al.*, 2011).

3.4 RESUMO

A degradação está relacionada à queda de desempenho de um elemento ou sistema. Esta queda pode ser representada graficamente por meio de curvas de degradação que podem assumir diversas formas em função do tipo dos mecanismos envolvidos.

Os fatores que influenciam este fenômeno podem ser divididos em: intrínsecos, relacionados às características do material, e extrínsecos, relacionados ao meio.

Os principais fatores extrínsecos são o clima (umidade, temperatura, ventos, chuva dirigida), o entorno da edificação (distância do mar, proximidade de poluentes) e os agentes bióticos.

Os principais fatores intrínsecos estão relacionados às características de projeto, à especificação de materiais, à execução e ao uso e manutenção.

A queda de desempenho de um sistema se apresenta na forma de uma manifestação patológica. No sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura, as principais manifestações patológicas são as superficiais, manchas, falhas de vedação, fissuras, descolamentos, pulverulência e degradação da pintura.

Estas manifestações patológicas podem ser agrupadas em quatro grupos: estéticas (superficiais e manchas), perda de continuidade (fissuras e falhas de vedação), perda de aderência (descolamentos e pulverulência) e degradação da pintura.

4 VIDA ÚTIL DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

O desempenho é o “comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas” (ABNT NBR 15575, 2013). Esse comportamento varia em função de fatores intrínsecos (características do material) e extrínsecos (características do meio), conforme discutido nos itens 3.1 e 3.2. Quando um sistema atinge os níveis mínimos de desempenho, ele chega ao fim de sua vida útil (SANTOS Jr., 2016).

A NBR 15575 define Vida Útil (VU) como o “período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção” (ABNT, 2013).

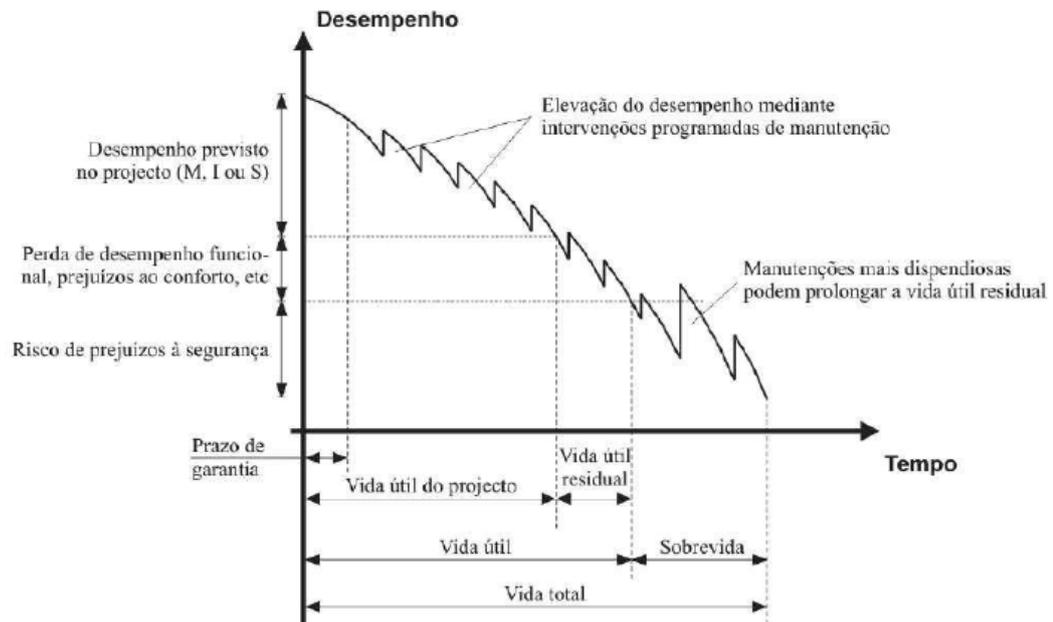
A norma também define Vida Útil de Projeto (VUP) como o “período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção” (ABNT, 2013).

O valor final atingido de Vida Útil (VU) será uma composição do valor teórico calculado como Vida Útil de Projeto (VUP) influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos (naturais) fora de seu controle (ABNT, 2013).

A norma conceitua ainda, vida útil residual e sobrevida. A vida útil residual como o período após a vida útil de projeto em que o produto apresenta um decréscimo de desempenho em função do uso e envelhecimento natural, afetando as questões funcionais, mas ainda mantendo as condições de segurança através de ações de manutenção mais dispendiosas. A sobrevida representa o período de tempo em que os níveis de segurança começam a ser gravemente afetados. O limite da vida útil também pode ser estimado pela degradação, a qual é medida e avaliada em cada inspeção realizada de modo programado e após ações de manutenção (ABNT, 2013).

A Figura 7 ilustra a relação entre o desempenho ao longo do tempo e os conceitos de vida útil, vida útil de projeto, vida útil residual, sobrevida e vida total.

Figura 7 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema



Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013)

Os valores de VUP recomendados pela norma de desempenho para os sistemas de revestimentos de fachada estão expressos na Tabela 1. Esses valores consideram a periodicidade e processos de manutenção segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012) e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 14037 (ABNT, 2011).

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto (VUP) para os sistemas de fachada

Sistema	VUP (anos) para cada nível de desempenho		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Vedação Vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Revestimento de fachada aderido e não aderido	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Pintura (fachadas e revestimentos sintéticos texturizados)	≥ 8	≥ 10	≥ 12

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

No intuito de atender o tempo de vida útil previsto em cada nível de desempenho, é necessário atentar para os seguintes itens (ABNT, 2013):

- emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VUP;
- execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- atendimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;

- utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Entretanto, a vida útil não é um valor absoluto, sendo que sua determinação implica a definição das exigências ou requisitos de desempenho pretendidos para um determinado material ou componente (CHAI, 2011). Esses critérios variam em função da época, do lugar, do avaliador e de todo o contexto social, econômico, político, estético, ambiental ou normativo que enquadra o julgamento sobre a construção (GASPAR, 2009).

Dessa maneira, a vida útil pode ser avaliada sob a ótica física, funcional e econômica.

A **vida útil física** corresponde ao período de tempo durante o qual o edifício ou parte dele se mantém num nível requerido de adequação às exigências que lhes são colocadas ou que permita acolher e responder a novos usos, sem sofrer desgaste físico irreversível para além de uma manutenção corrente ou de investimentos equivalentes ao custo de reposição do elemento (GASPAR, 2002).

A **vida útil funcional** corresponde ao período de tempo que a construção permite a sua utilização, independentemente do fim para que foi concebida. No entanto, pode surgir uma situação de inviabilidade a um novo uso e o edifício chegar ao fim da sua vida útil em termos funcionais (CHAI, 2011).

A **vida útil econômica** está relacionada à viabilidade econômica em se manter o edifício. Ainda que um edifício mantenha a sua integridade física (acima dos níveis mínimos de desempenho), por vezes sucede ser economicamente inviável a sua manutenção, por exemplo, pela insuficiência dos rendimentos gerados ou pela existência de alternativas mais rentáveis de ocupação do espaço associado à construção (GASPAR; BRITO, 2004). Assim, a decisão do prolongamento da vida útil é de índole econômica, ou seja, depende da disponibilização do capital para manutenção do edifício ou para demolição e construção de um novo, o que for mais rentável. Importa que esse fator seja bem ponderado perante o mercado existente com coerência e precisão (SILVA, 2011).

Muitas vezes a definição da vida útil acaba sendo empírica por não se ter aspectos bem definidos, ou por desconhecimento das ações que o edifício está submetido. Além disso, seguramente a vida útil estabelecida para uma cidade na grande maioria dos casos será completamente diferente de outra, porém estas acabam por serem definidas de maneira genérica, e não levando em conta as particularidades de cada local. Para um país de dimensões continentais como o Brasil, esses aspectos devem ser considerados (NASCIMENTO, 2016).

Para reduzir as despesas, pequenos reparos nos sistemas de revestimento são preferidos a soluções profundas. Sempre que são realizados, a vida útil do sistema de revestimento é prolongada mais um pouco. Isso dificulta a estimativa de vida útil mesmo quando os padrões de degradação são conhecidos. Além disso, o fim da vida útil é determinado por decisões humanas que definirão o limite de aceitação em qualquer modelo de vida útil, baseados em vários aspectos como custo, risco e desconforto associado ao processo de restauração. Por isto, em planejamento de vida útil, os estudos devem se concentrar não somente nos mecanismos de degradação e perda de desempenho, mas também na definição de critérios de aceitação dos usuários envolvidos, e nunca há uma certeza absoluta sobre o final da vida útil até que ele realmente ocorra (GASPAR, 2017).

4.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Por se tratar de um sistema complexo, o fenômeno de degradação não se processa de forma homogênea (GASPAR; BRITO, 2005). Por isso, a maioria das metodologias disponíveis para avaliar a vida útil decompõe os edifícios em suas partes, materiais ou componentes. Os defeitos detectados em cada um dos subgrupos são posteriormente classificados de acordo com níveis de degradação estabelecidos (GASPAR; BRITO, 2008). Ou seja, a previsão de vida útil pode ser baseada em modelos que analisam os vários fatores que influenciam o processo de degradação (SOUZA *et al.*, 2016).

Os modelos de degradação, durabilidade e vida útil são extremamente relevantes para aumentar o desempenho dos sistemas de revestimento, pois funcionam como ferramentas de feedback para auxiliar no processo de concepção e na definição de políticas de manutenção adequadas (SOUZA *et al.*, 2018).

Os métodos de previsão de vida útil podem ser classificados em três categorias: métodos determinísticos; métodos probabilísticos (ou estocásticos); e métodos de engenharia (HOVDE, 2004; MOSER, 2004; SILVA *et al.*, 2016).

4.1.1 Métodos determinísticos

Os métodos determinísticos utilizam formulações matemáticas procurando descrever a relação entre os fatores de degradação e a condição da fachada. Eles são extremamente eficientes quando utilizados em amostras grandes e representativas. No entanto, são alvo de várias críticas relacionadas à simplicidade com que abordam fenômenos complexos, como é o caso

dos fenômenos de degradação, ignorando a aleatoriedade associada ao fenômeno e os erros aleatórios associados às previsões (SILVA, 2009; SETUNGE, 2011).

Os principais métodos determinísticos são o método fatorial, os métodos gráficos e as técnicas de regressão.

O método fatorial, desenvolvido pelo Instituto de Arquitetura do Japão, que tem por base uma vida útil de referência, a qual é afetada por um conjunto de fatores determinísticos relacionados com a diferença entre condições específicas e condições de referência, tendo em conta os fatores de degradação específicos para cada caso. Trata-se de um método empírico que depende fortemente da informação disponível, não caracterizando a evolução da degradação dos elementos ao longo do tempo (AIJ, 1993).

Os métodos gráficos são baseados na construção de curvas de degradação que pretendem modelar o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo. Essas curvas podem ser obtidas através do ajuste dos gráficos de degradação que representam, tipicamente, o tempo decorrido desde a entrada em serviço no eixo das abscissas e uma escala de medida da degradação no eixo das ordenadas (CHAI, 2011).

As técnicas de regressão são baseadas no seguinte pressuposto: procurar a função (linear, polinomial) que melhor se ajusta a um conjunto de dados aleatórios (VENKATESCHAN; SWAMINATHAN, 2007). Esses modelos proporcionam uma vida útil média estimada das fachadas, dando um conjunto de medidas de dispersão. Na análise de regressão simples, a vida útil é estimada com base na evolução da degradação da amostra global ao longo do tempo, permitindo uma análise da influência de várias características na degradação dos revestimentos. Esse tipo de análise permite transformar as características em variáveis quantitativas utilizadas em regressões lineares múltiplas (SILVA *et. al.*, 2013). A análise de regressão linear e não linear múltipla baseia-se nos mesmos pressupostos, mas admitem mais variáveis independentes que contribuem para a explicação da variável dependente (SATAPATHY *et al.*, 2009).

4.1.2 Métodos probabilísticos

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

Quando métodos determinísticos e estocásticos apresentam o mesmo nível de complexidade, os métodos estocásticos geralmente apresentam desempenho superior quando comparados com formulações determinísticas puras, pois lidam melhor com a incerteza associada a fenômenos complexos, como a degradação de edifícios (LOUNIS; MIRZA, 2001).

Eles permitem avaliar: (i) a probabilidade de cada fachada estar em uma determinada condição de degradação de acordo com diferentes critérios (como sua idade, suas características e condições de exposição ambiental); (ii) o período de tempo com probabilidade máxima de transição entre uma condição de degradação e a seguinte (mais grave); (iii) a probabilidade de cada estudo de caso atingir o final da sua vida útil durante um determinado período de tempo (SILVA *et al.* 2016).

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

4.1.3 Métodos de engenharia

Os métodos de engenharia combinam a simplicidade dos métodos determinísticos com dados probabilísticos. Eles partem de metodologias mais simples (métodos determinísticos), permitem integrar um pouco da variabilidade associada à incerteza do mundo real (métodos probabilísticos), sem se tornarem excessivamente complexos (GASPAR, 2002).

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

Um exemplo de método de engenharia são as novas abordagens do método fatorial que definem cada um dos fatores que interferem na estimativa de vida útil como variáveis aleatórias (CECCONI, 2004).

Outro exemplo é o método dos limites de desempenho (*Performance Limits method*). Este método pretende avaliar a durabilidade dos componentes do edifício, através da simulação do seu desempenho ao longo do tempo, até que se atinja o seu limite físico ou de desempenho. Neste método, o fenômeno de degradação é avaliado através de uma cadeia de relação entre: agentes → ações → efeitos → degradação (DANIOTTI; SPANGOLO, 2008).

4.1.4 Considerações sobre os métodos de previsão de vida útil

Nos últimos anos, várias metodologias de previsão de vida útil foram desenvolvidas e aplicadas a diferentes componentes do edifício, principalmente às fachadas e, em particular, a revestimentos externos. Naturalmente, essas metodologias são teoricamente distintas, levando a diferentes resultados, com diferentes níveis de dificuldade, acessibilidade, tempos e custos de processamento (LOURENÇO *et al.*, 2007).

Usar ferramentas muito complexas em situações de decisão estratégica não melhora o rigor das decisões; pelo contrário, decidir com base em informação mais simplificada, mas bem selecionada, pode permitir alcançar resultados muito positivos, especialmente em contextos de tempo e recursos limitados. Em muitas situações práticas, a decisão baseada em métodos aparentemente simples funciona tão bem, ou melhor, do que os métodos mais complexos (BOWER, 1999).

Portanto, é necessário avaliar e comparar as diferentes metodologias disponíveis, considerando suas vantagens e limitações, ajudando o interessado a escolher um determinado modelo, de acordo com um conjunto de critérios previamente estabelecidos e considerando alguns princípios básicos (SILVA *et al.*, 2018):

- os modelos devem ser ajustados aos dados;
- os modelos devem ter um poder explicativo significativo;
- é necessário evitar o ajuste excessivo do modelo, garantindo a capacidade de prever o comportamento de outros estudos de caso não utilizados na definição dos modelos;
- na presença de dois modelos que representam igualmente a realidade, a parte interessada deve escolher o modelo que requer um número menor de parâmetros - também conhecido como “o princípio da parcimônia”;
- os parâmetros do modelo devem ser facilmente interpretáveis;
- o modelo deve ser simples de aplicar, considerando o entendimento do usuário sobre o modelo, a quantidade e a complexidade dos dados necessários para que o modelo funcione adequadamente, bem como o software necessário e o tempo de processamento.

O estudo de Silva *et al.* (2018) analisou diversos modelos de previsão de vida útil aplicados a uma amostra de 100 fachadas sob duas perspectivas: a perspectiva do desenvolvedor do modelo, que produz e ajusta o mesmo; e a perspectiva do usuário, que se concentra principalmente nos resultados.

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que métodos menos complicados requerem menos tempo para serem desenvolvidos e aplicados e geralmente podem atingir um bom nível de precisão. No entanto, esses métodos só podem relacionar a degradação dos revestimentos com a idade ou com as características escolhidas individualmente do revestimento, o que impede a avaliação geral dos efeitos da interação entre os agentes de degradação.

Por outro lado, modelos mais complexos- como modelos computacionais - são mais exigentes, e requerem um processo demorado para aprender e implementar a metodologia, no entanto, eles geralmente levam a resultados bastante precisos, englobando as variáveis relevantes para a explicação da degradação das fachadas. Essa abordagem permite otimizar a seleção de um determinado tipo de revestimento, com base na análise das condições de exposição ambiental que caracterizam a área em que o revestimento será usado.

Os modelos probabilísticos, por sua vez, fornecem informações por funções de distribuição probabilística, extremamente relevante para a compreensão e mensuração do risco associado à degradação de processamentos, à natureza das ações de reparo e ao fim de sua vida útil.

Portanto, caberá ao usuário a escolha do modelo que mais se adéque às suas necessidades, considerando todos os aspectos já apresentados. Neste trabalho, adotou-se o método gráfico, determinístico, baseado na construção de curvas de degradação que permitem modelar o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo.

O método gráfico, baseado na construção de curvas de degradação, foi escolhido em função de sua simplicidade, dos baixos custo e tempo de processamento, de não haver necessidade de software específico, da possibilidade de avaliar o desempenho real do sistema e de vários trabalhos terem obtidos bons resultados com a aplicação deste modelo.

4.2 CURVAS DE DEGRADAÇÃO APLICADAS A REVESTIMENTOS DE FACHADAS

A avaliação do desempenho de um sistema de revestimento é uma atividade complexa, não apenas devido aos inúmeros fatores relacionados à exposição, mas também à dificuldade de avaliar o comportamento em serviço (GALVÃO *et al.*, 2018).

Das diferentes formas de avaliação da vida útil dos componentes dos edifícios, destaca-se a inspeção de edifícios. Essa permite uma avaliação da vida útil por conhecimento das características do sistema baseado no tempo mínimo de comprovação do desempenho e considerando a vida útil pretendida (SOUZA, 2016).

Muitas vezes a dificuldade de obtenção de dados dos históricos dos componentes inspecionados e a complexidade para controlar, monitorar e medir os agentes atuantes no

meio ambiente são obstáculos cruciais para esta forma de avaliação da vida útil. Porém, destaca-se que uma das grandes vantagens da obtenção de dados de durabilidade pela inspeção de edifícios está na correlação direta entre o estado dos componentes, o ambiente de exposição e os níveis de desempenho (SOUZA, 2016).

De acordo com Silva (2009), é importante salientar que, independentemente do rigor adotado no trabalho de campo, esse padece de inúmeras limitações, tais como:

- a susceptibilidade a erros de projetos e execução que estejam ocultos, não sendo detectáveis numa inspeção visual;
- a dificuldade em realizar medições e visualizar as zonas elevadas do revestimento;
- a dificuldade em obter informação relativa às manutenções e reparações de que o revestimento foi alvo;
- a subjetividade inerente a quem realiza o trabalho de campo (depende significativamente da formação e experiência do inspetor).

Com os dados obtidos no trabalho de campo é possível quantificar a degradação dos sistemas de revestimento de fachadas, transformando-a em um índice numérico que possa ser avaliado ao longo do tempo, através da construção de curvas de degradação

A obtenção deste índice pode seguir diferentes abordagens, de acordo com o autor e com o sistema de revestimento estudado. A seguir, são descritos alguns dos principais trabalhos desenvolvidos para estudar o comportamento dos sistemas de revestimento de fachadas através de curvas de degradação.

4.2.1 Modelo proposto por Gaspar e Brito (2008 e 2011) e Gaspar (2009)

Em 2008, os autores apresentaram uma metodologia para quantificar o nível de degradação global das fachadas rebocadas. Os resultados foram 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. Com os resultados dessa pesquisa foi possível estabelecer padrões de degradação através de uma curva de degradação.

Essa curva (Figura 8) foi construída com base em 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 fachadas

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 2) em função do tempo possa ser identificado.

$$\text{NGD} = \Sigma [(A_n \times k_n \times k_{a,n}) / (A_r \times k)] \quad (2)$$

Onde,

NGD – Nível Geral de Degradação, em porcentagem;

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

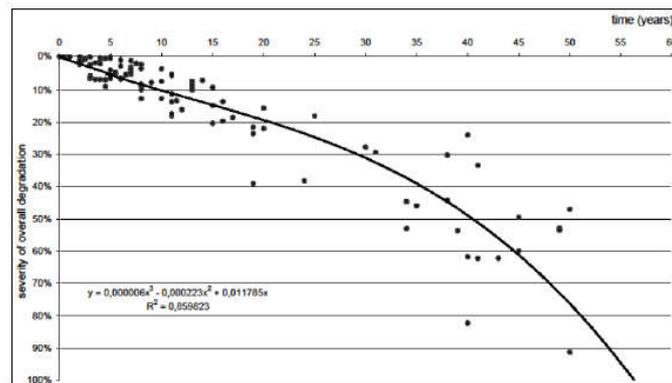
k_n – Nível de n defeito, onde k_n fica contido no intervalo $\{0, 1, 2, 3, 4\}$;

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

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

A_r – Superfície da fachada exposta, em metros quadrados.

Figura 8 – Curva de degradação média de 100 amostras, expressando o NGD ao longo do tempo



Fonte: Gaspar; Brito (2011)

Esse trabalho alavancou pesquisas com outros sistemas de revestimentos como cerâmico e pético.

4.2.2 Modelo proposto por Sousa (2008)

Em 2008, Sousa utilizou a metodologia proposta por Gaspar e Brito para avaliar o fenômeno da degradação em fachadas com revestimento cerâmico. Foi analisada uma amostra de 117 fachadas de edifícios em Portugal. A metodologia consistia em um levantamento das manifestações patológicas através de inspeção visual e posterior análise quantitativa da degradação (SOUSA, 2008).

As manifestações patológicas encontradas foram agrupadas em 4 grupos, baseados em critérios de gravidade, frequência e importância na evolução da degradação: estéticas; fissuração; deterioração das juntas; e descolamento.

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). Esta razão permite obter uma variação do valor da severidade da degradação do revestimento entre 0 e 100%; constituindo assim um indicador facilmente interpretável.

$$S = \frac{\Sigma(A_e \times k_n \times k_{a,n}) + (A_f \times k_n \times k_{a,n}) + (A_j \times k_n \times k_{a,n}) + (A_d \times k_n \times k_{a,n})}{A \times k} \quad (3)$$

Onde:

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

A_e – Área de fachada afetada por anomalias estéticas, em m^2 ;

A_f – Área de fachada afetada por anomalias por fissuração, em m^2 ;

A_j – Área de fachada afetada por anomalias por deterioração de juntas, em m^2 ;

A_d – Área de fachada afetada por anomalias por descolamento, em m^2 ;

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

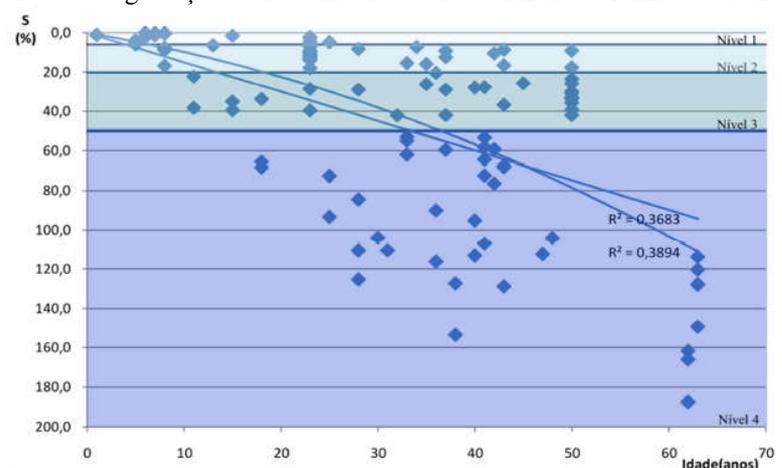
$k_{a,n}$ – Fator de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas; caso não exista especificação $k_{a,n}=1$;

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

A – Área da fachada, em m^2 .

A Figura 9 apresenta as curvas de degradação obtidas pela autora com esse modelo relacionando a idade com a severidade da degradação.

Figura 9 – Curvas de degradação de 117 amostras de revestimento cerâmico de fachada de Portugal



Fonte: Silva (2009)

4.2.3 Modelo proposto por Silva (2009)

Em 2009, Silva adaptou essa metodologia desenvolvida anteriormente para os rebocos exteriores correntes e para os revestimentos cerâmicos de fachada, para avaliar o desempenho dos revestimentos de paredes de pedra natural.

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 registros escritos (ficha de inspeção e diagnóstico) e fotográficos, com o intuito de quantificar as variáveis a utilizar no modelo de previsão da vida útil.

As anomalias foram divididas pela autora em quatro grupos: estéticas; em juntas; na fixação ao suporte; e perda de integridade. As curvas de degradação foram definidas através do estudo destas 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, sendo descartados 4 casos, pois apresentavam resultados anômalos, uma degradação muito elevada com uma idade inferior a 10 anos.

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 (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.

$$S_{w,rp} = \frac{\Sigma(A_e \times k_n \times k_{a,n}) + (A_j \times k_n \times k_{a,n}) + (A_f \times k_n \times k_{a,n}) + (A_i \times k_n \times k_{a,n})}{A \times \Sigma(k_{m\acute{a}x})} = \frac{E_w}{E_{w,m\acute{a}x}} \quad (4)$$

Onde:

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

A_e – Área do revestimento afetada por anomalias estéticas, em m^2 ;

A_j – Área do revestimento afetada por anomalias em juntas, em m^2 ;

A_f – Área do revestimento afetada por anomalias na fixação ao suporte, em m^2 ;

A_i – Área do revestimento afetada por anomalias de perda de integridade, em m^2 ;

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 m^2 ;

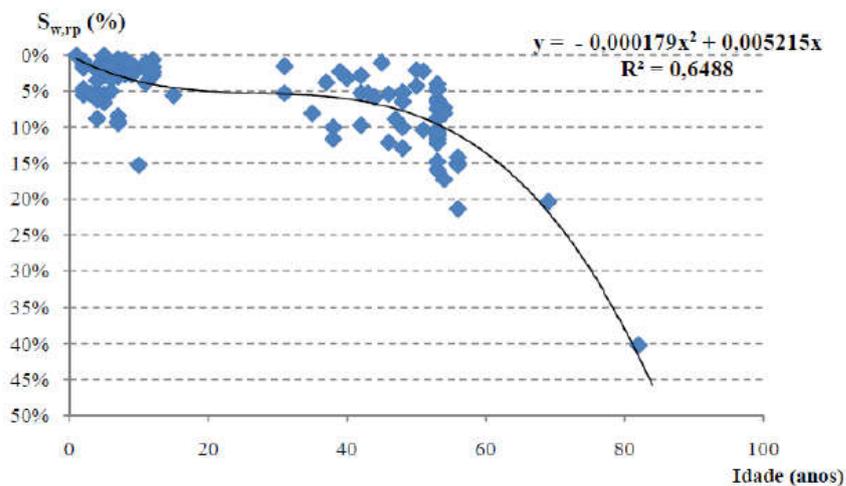
$\Sigma(k_{máx})$ – Somatório das constantes de ponderação iguais ao nível de condição mais elevada da degradação de um revestimento de área A ;

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 desempenho dos revestimentos pétreos ao longo do tempo. A curva de degradação obtida (Figura 10) se assemelha a uma curva em “S”, indicando 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.

Figura 10 – Curva de degradação dos revestimentos pétreos de fachada obtida a partir de cento e vinte casos analisados no trabalho de campo

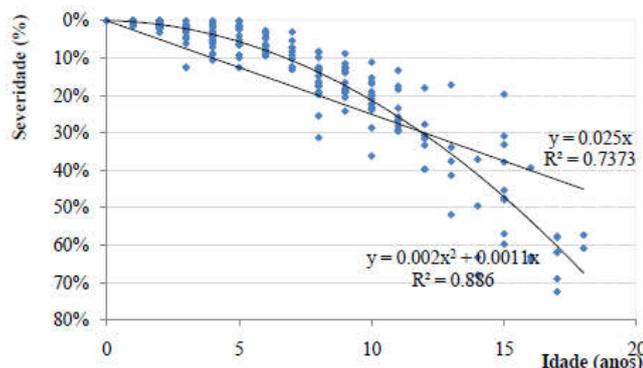


Fonte: Silva (2009)

4.2.4 Modelo proposto por Chai (2011)

Utilizando a metodologia proposta por Gaspar, Chai analisou a degradação da pintura em 220 amostras de fachadas de edifícios, com revestimento em argamassa e acabamento em pintura, em Portugal, obtendo as curvas de degradação apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Curvas de degradação (linear e polinomial) obtidas a partir dos 220 estudos de caso



Fonte: Chai (2011)

Nesse estudo foi analisada apenas a degradação da película de tinta. Essa análise foi efetuada em função de vários parâmetros, como: tipo de produto, textura, cor, preparação da superfície, umidade, proximidade do mar, proximidade de fontes poluentes, ação do vento-chuva e orientação da fachada.

Destes parâmetros, foi possível obter um modelo de regressão múltipla linear com $R^2=0,90$, onde a severidade foi expressa em função da idade, da orientação da fachada e da proximidade do mar, apresentado na equação 5.

$$\text{Severidade} = 0.4734 + 0.0353 \times \text{Idade} - 0.2618 \times \text{Proximidade do mar} - 0.3175 \times \text{Orientação da fachada} \quad (5)$$

4.2.5 Modelo proposto por Silva (2014)

No Brasil, em 2014, Silva, dando continuidade a essa linha de pesquisa, analisou o comportamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade de Brasília. A autora utilizou um banco de dados do acervo técnico do Laboratório de Ensaio e Materiais da Universidade de Brasília (LEM – UnB). Foram analisados 12 edifícios com características construtivas semelhantes, sendo um total de 90 amostras (SILVA, 2014).

Foi realizado o levantamento fotográfico, mapeamento e divisão das fachadas por intermédio de uma malha de 0,50m por 0,50m, para o cálculo das ocorrências para cada tipo específico de manifestação patológica para todas as amostras: descolamento cerâmico, falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação.

A autora dividiu a fachada em sete regiões: paredes contínuas, aberturas, sacadas, cantos e extremidades, juntas, transição entre os pavimentos e topo. Cada região, pela sua localização, apresenta uma área diferente, maior ou menor, dependendo do tipo de região. Sendo assim, com o objetivo de quantificar as áreas de dano em regiões com áreas diferentes se fez necessário estabelecer um fator de ponderação (fator de correção) que contemple essas associações das áreas diferenciadas de cada região. Para tanto, dividiu-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. A Tabela 2 mostra os valores estabelecidos para as ponderações utilizados pela autora.

Tabela 2 – Valores de ponderação das regiões de fachadas

Região	Área da região em 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

Fonte: Silva (2014)

Inicialmente foi calculado o Fator de Dano (FD) para cada anomalia estudada observada nas amostras. 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 afetada pelas manifestações patológicas em função da área total de fachada (Equação 6).

$$FD = \frac{A_d}{A} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

FD – Fator de Dano da fachada (%);

A_d – Área de manifestação patológica observada na amostra de fachada (m²);

A – Área total da amostra de fachada (m²).

Em seguida, as análises das curvas de degradação foram realizadas a partir de três modelos de cálculo de degradação em fachadas com revestimento cerâmico com o objetivo de avaliar qual modelo mais se adequava as amostras de Brasília. São eles:

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

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 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 (Equação 7) estabelece uma relação cumulativa ponderada por variáveis (condição do dano e custo de reparação) condicionantes do processo de degradação. A Figura 12 mostra as curvas de degradação obtida pela autora com este modelo em função da orientação das fachadas.

$$FGD = \sum[(A_n \times k_n \times k_{c,n}) / (A \times k)] \quad (7)$$

Onde:

FGD – Fator Geral de Danos (%);

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

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

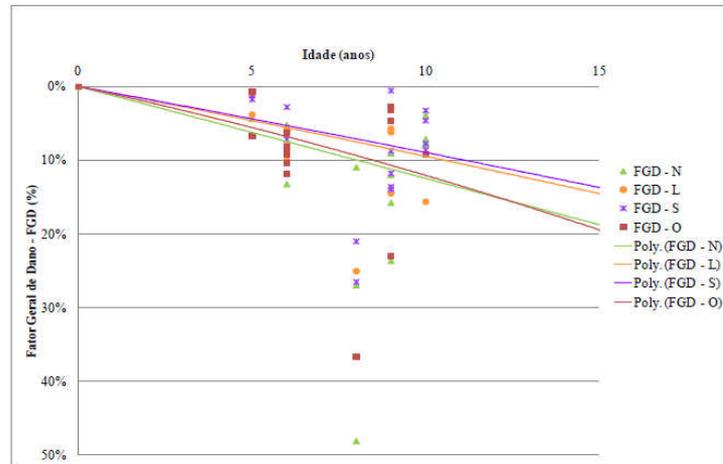
k – Constante, equivalente ao nível da pior condição ($k = 4,00$);

$k_{c,n}$ – 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).

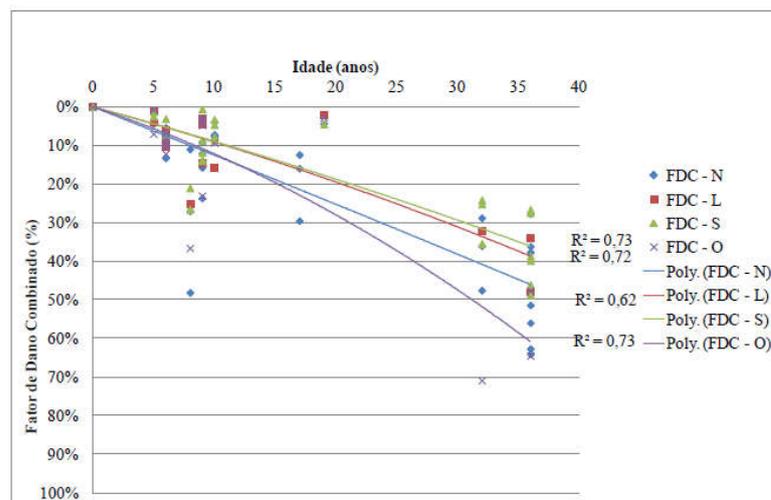
Figura 12 – Curvas de degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos



Fonte: Silva (2014)

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, retratando, dessa forma, uma interpretação simples do estado de deterioração das fachadas. Este modelo (Equação 8) busca verificar a influência do custo da reparação dos danos na evolução da degradação. A Figura 13 mostra as curvas de degradação obtida pela autora com este modelo em função da orientação das fachadas.

Figura 13 – Curvas de degradação em função da orientação para o Fator de Danos Combinado



Fonte: Silva (2014)

$$FDC = \sum_1^n (FD_n \times k_{c,n}) \quad (8)$$

Onde:

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

FD = Fator de Dano

K_{c,n} = custo relativo de reparo do dano

O **Modelo Fatorial de Danos (MFD)** 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}). Ele pode ser calculado através das Equações 9, 10 e 11. A Figura 14 mostra as curvas de degradação obtida pela autora com este modelo em função da orientação das fachadas.

$$MFD = \frac{ID}{ID_{REF}} \times 100 \quad (9)$$

Onde o ID representa os danos efetivos de cada amostra e o ID_{REF} representa os danos efetivos da amostra de referência.

$$ID = \sum (B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i}) \quad (10)$$

$$ID_{REF} = \sum (B_i \times K_{1i,REF} \times K_{2i,REF} \times K_{3i,REF} \times K_{4i,REF}) \quad (11)$$

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.

ID_{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 ;

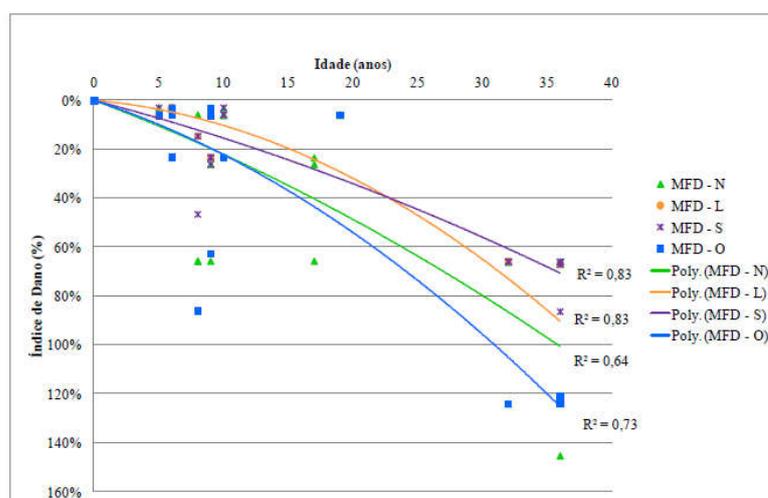
$K_{3i,ref}$ – Fator de referência indicativo da extensão do dano i ;

$K_{4i,ref}$ – 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 apud SILVA, 2014).

Figura 14 – Curvas de degradação em função da orientação para o Método Fatorial de Danos



Fonte: Silva (2014)

Os três modelos de cálculo da degradação (FGD, FCD e MFD) utilizados por Silva (2014) mostraram-se viáveis para uma análise de estimativa de vida útil de fachadas com revestimento cerâmico em edifícios de Brasília, apresentando regularidade no comportamento da degradação de fachadas. Ou seja, todos estes modelos permitem estabelecer o comportamento da degradação em função do tempo.

4.2.6 Modelo proposto por Souza (2016)

Em 2016, Souza consolidou a metodologia proposta por Silva (2014) tendo por finalidade propor uma modelação do perfil de degradação e aplicação desta abordagem às regiões que compõem as fachadas (aberturas, topo, transição entre pavimentos, sacadas, cantos e extremidades e paredes contínuas) (SOUZA, 2016).

Além do Fator de Danos, a autora calculou o Fator de Danos da Região Corrigido (FDRC), que enfoca as regiões da fachada. Para o cálculo desse fator, foi utilizado o Coeficiente de

Correção das regiões – CC_r (Equação 12), conforme proposto por Silva (2014), para corrigir a proporcionalidade das regiões.

$$CC_r = \frac{A_{r(m)}}{\sum A_{r(x)}} \quad (12)$$

Onde:

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

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

Com esse coeficiente é possível calcular o FD_{RC} pela Equação 13.

$$FD_{RC} = \frac{\sum AD_{r(n)}}{A_t} \times CC_r \quad (13)$$

Onde:

$AD_{r(n)}$ – área danificada de determinada anomalia (n) em determinada região;

A_t – área total da amostra;

CC_r – coeficiente de correção da região em análise.

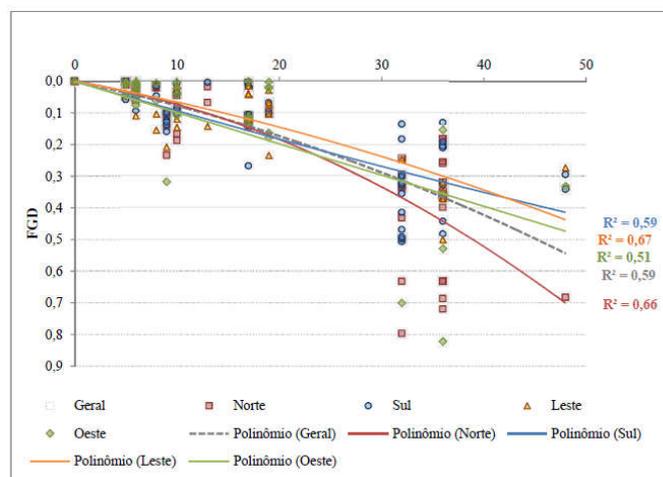
Para avaliar a representatividade de cada anomalia em relação à área total danificada, ela calculou a Distribuição de Danos (DD) pela equação 14.

$$DD = \frac{A_{d(n)}}{\sum A_{d(n)}} \quad (14)$$

Onde: $A_{d(n)}$ – área danificada de determinada anomalia (n).

A autora analisou um total de 184 amostras de fachadas com revestimento cerâmico na cidade de Brasília obtidas do acervo técnico do LEM-UnB. A Figura 15 mostra as curvas de degradação obtida pela autora com o Modelo do Fator Geral de Danos (FGD) em função da orientação das fachadas.

Figura 15 – Curvas de degradação em função da orientação para o Fator Geral de Danos em relação do tempo



Fonte: Souza (2016)

4.2.7 Modelo proposto por Santos (2018)

Em 2018, Santos aplicou a metodologia desenvolvida por Silva (2014) e Souza (2016) para revestimentos cerâmicos em revestimentos de argamassa com acabamento em pintura. As manifestações patológicas analisadas foram separadas em manifestações patológicas do revestimento de argamassa e manifestações patológicas da camada de pintura. A análise da degradação feita por Santos (2018) foi com base no Fator de Danos (FD) e no Fator Geral de Danos (FGD), estabelecidos por Silva (2014).

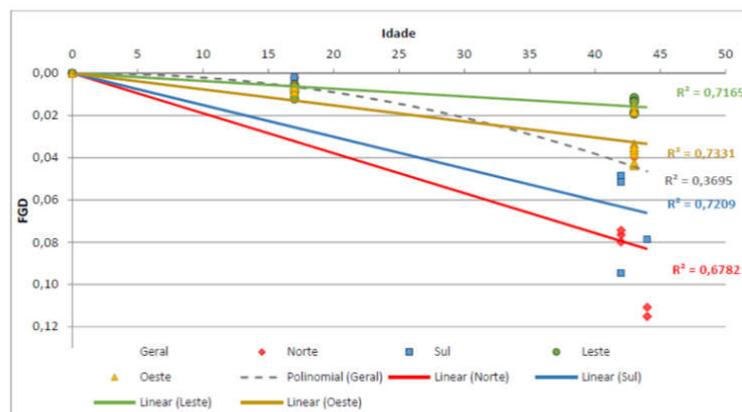
Uma modificação proposta foi na obtenção da constante representativa da importância das patologias (Kcn). Esta constante representa a importância relativa que cada patologia desempenha na degradação das fachadas, e sua determinação ocorreu da seguinte forma:

- obteve-se a matriz de correlação entre causas prováveis / manifestações patológicas;
- obteve-se a matriz associativa entre as patologias / queda de desempenho;
- para cada matriz, por meio de seus índices, definiu-se indicadores que representassem a importância de cada patologia; e
- obteve-se a classificação que referenda a importância das patologias (Kcn).

Propostas estas alterações para a formulação do FGD, ele foi aplicado e seus resultados foram associados à influência de fatores como a idade e a orientação das amostras. A análise destes fatores fornece subsídios que visam, não apenas ampliar a percepção do comportamento da degradação, mas também torna possível a análise e estimativa da vida útil dos edifícios.

Foram analisados 6 edifícios localizados em Brasília, totalizando 60 amostras com idades entre 17 e 44 anos. A Figura 16 apresenta as curvas obtidas pelo autor com o FGD em função das orientações da fachada.

Figura 16 - Comportamento da degradação para diferentes orientações ao longo do tempo (FGD x Idade)



Fonte: Santos (2018)

4.2.8 Considerações sobre as curvas de degradação aplicadas a revestimentos de fachadas

O Quadro 5 apresenta um resumo dessas e de outras pesquisas relacionadas ao estudo do desempenho de sistemas de revestimento de fachadas através de curvas de degradação.

Quadro 5 – Resumo das pesquisas relacionadas ao estudo do desempenho de fachadas através de curvas de degradação

Autor	Ano	Local	Amostras	Sistema estudado	Tipo de curva	R ²
Gaspar e Brito	2008	Portugal	19	Reboco	Linear	0,76
Sousa	2008	Portugal	117	Cerâmico	Polinomial	0,39
Gaspar	2009	Portugal	90	Reboco	Polinomial	0,88
Silva	2009	Portugal	142	Pétreo	Curva “S”	0,65
Gaspar e Brito	2011	Portugal	100	Reboco	Polinomial	0,86
Chai	2011	Portugal	220	Pintura	Polinomial	0,89
Sousa <i>et al.</i>	2011	Portugal	117	Cerâmico	Polinomial	0,74
Silva <i>et al.</i>	2011	Portugal	142	Pétreo	Polinomial	0,82
Garrido <i>et al.</i>	2012	Portugal	100	Pintura em edificações antigas	Polinomial	Não informado
Galbusera <i>et al.</i>	2014	Portugal	195	Cerâmico	Polinomial	0,77
Silva	2014	Brasil	90	Cerâmico	Polinomial	0,63
Ximenes <i>et al.</i>	2014	Portugal	170	ETICS*	Polinomial	0,85
Souza	2016	Brasil	184	Cerâmico	Polinomial	0,51
Mousavi <i>et al.</i>	2017	Portugal	142	Pétreo não aderido	Polinomial	0,74
Serralheiro <i>et al.</i>	2017	Portugal	174	Concreto aparente	Polinomial	0,73
Souza <i>et al.</i>	2018	Brasil	96	Cerâmico	Polinomial	0,81
SANTOS	2018	Brasil	60	Reboco	Polinomial	0,37

*Sistemas compostos com isolamento térmico externo

Fonte: O Autor (2020)

Os modelos expostos apresentam, em comum, um ponto importante que é a possibilidade de desenvolver uma ferramenta para conhecimento adequado da durabilidade de um sistema,

neste caso, o revestimento das fachadas. Isso permite auxiliar na especificação de projetos e no planejamento de operações de manutenção, reduzindo custos e conseqüentemente, impactos ambientais, e garantindo um melhor desempenho do sistema de revestimento.

Essa metodologia foi aplicada para análise de diferentes sistemas de revestimento (reboco, cerâmico, pétreo, pintura, concreto aparente e sistemas compostos com isolamento externo) combinando diversos fatores no fenômeno da degradação como idade, cor do revestimento, tipo de substrato, dimensões da placa, distância do mar e frequência de manutenção.

A velocidade e a intensidade do fenômeno de degradação variaram de acordo com as características do edifício e de acordo com as condições a que eles estavam expostos. Mas, elas normalmente se apresentaram como uma curva convexa: o processo é lento nos primeiros anos, seguido por um período de aparente estabilização e, no final da vida, acelera devido ao efeito acumulativo de anomalias presentes no revestimento.

Essa curva é a expressão gráfica da linha de tendência da nuvem de pontos de valores de índice de degradação em relação à idade do sistema de revestimento, podendo ter uma correlação linear ou polinomial. O coeficiente de correlação (R^2), nestes trabalhos, variou de 0,39 a 0,89. Esta variação ocorre em função do tipo de curva, do tipo de sistema de revestimento e da qualidade da amostragem. Sistemas mais complexos, com maior número de camadas, como o sistema de revestimento cerâmico, tendem a ter uma maior variação e conseqüentemente, um índice de correlação menor.

Essa dispersão é esperada em função da complexidade do fenômeno de degradação que é afetado por diversos fatores extrínsecos e intrínsecos. De acordo com Garrido (2010), a obtenção de pontos sem dispersão significaria que a degradação e o desempenho diferido não eram afetados por qualquer fator, sendo iguais para qualquer revestimento, independentemente das suas características e do seu contexto de aplicação.

A eficiência desse modelo, assim como de qualquer outro, está intimamente relacionada à qualidade da amostragem. Deve ser feita, se possível, uma pré-seleção das amostras retirando os casos que não podem ser modelados, como vandalismo ou amostras que apresentam uma degradação bem maior que a esperada devido a falhas de projeto, execução ou manutenção. No trabalho de Galbusera *et al.* (2014), uma pré-seleção da amostra inicial de 117 casos, incluindo casos não existentes na amostra inicial e excluindo casos muito disformes, como edificações que possuíam elevada degradação apesar da pouca idade. Isso resultou numa nova amostra de 195 casos e elevou o índice de correlação de 0,40 para 0,77.

A inclusão de dados inadequados na previsão da vida útil modelos leva a conclusões não confiáveis; modelos com dados tendenciosos são incapazes de ilustrar convenientemente a evolução da degradação dos edifícios e não podem ser usados para prever a sua vida útil residual (GALBUSERA *et al.*, 2014).

A confiabilidade do modelo pode ser afetada pelo tipo de inspeção adotado. Inspeções visuais estão sujeitas à experiência do observador e determinadas manifestações patológicas não podem ser avaliadas, como quando ocorre o descolamento das placas cerâmicas sem que elas se desprendam do emboço (GARCEZ *et al.*, 2012). Os resultados das inspeções também são influenciados pelas condições meteorológicas no momento da inspeção, como a dificuldade de detectar defeitos em revestimentos suaves e escuros quando o sol está caindo diretamente sobre eles (GALBUSERA *et al.*, 2014).

Embora as inspeções visuais consistam numa primeira abordagem para o levantamento de manifestações patológicas dos sistemas de revestimento, o uso de técnicas auxiliares de diagnóstico como câmeras termográficas e câmeras em veículos aéreos não tripulados (VANT's) é bastante relevante para o detalhamento e quantificação das informações coletadas, fornecendo uma associação mais clara entre as manifestações patológicas e suas possíveis causas e ajudando a caracterizar a extensão de cada anomalia (PIRES *et al.*, 2015).

A dificuldade na coleta de informações precisas, em especial relacionadas com as datas de construção e as ações de inspeção e manutenção dos componentes é outro obstáculo, geralmente mencionado nos trabalhos de campo, bem como a complexidade para controlar, monitorar e medir os mecanismos e agentes de degradação (BAUER *et al.*, 2016).

A principal vantagem desse método é que a coleta de informações sobre a condição de degradação dos edifícios através do processo de inspeção de estudos de casos de construção reais permite um estudo consistente e preciso, já que a situação do edifício real é avaliada considerando todos os agentes de degradação que contribuem para a deterioração do edifício (BAUER; FREITAS *et al.*, 2015).

Além disso, esse modelo não requer conhecimento especializado ou software específico e pode ser facilmente adaptado e complementado com novos estudos de caso. Lembrando que a curva obtida é característica das amostras analisadas, tipo de revestimento, técnicas construtivas utilizadas e região estudada (SILVA *et al.*, 2016).

Para modelagem da vida útil através de curvas de degradação é necessário quantificar a degradação das fachadas, transformando-a em um índice numérico que possa ser avaliado ao

longo do tempo. A obtenção deste índice pode seguir diferentes abordagens, de acordo com o autor e com o sistema de revestimento estudado.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO

O princípio fundamental dos modelos explanados no item 4.2 é a quantificação da degradação, transformando-a em um índice numérico que possa ser avaliado ao longo do tempo. Para obtenção deste índice é necessário a definição de alguns parâmetros, explanados nos itens seguintes: quantificação das áreas, regiões da fachada analisadas, definição das manifestações patológicas estudadas e da importância relativa de cada uma no processo de degradação e estabelecimento dos níveis de degradação.

4.3.1 Quantificação das áreas

O levantamento dimensional consiste na obtenção das dimensões dos elementos das fachadas. Existem diferentes técnicas distinguindo-se pelo seu custo, tempo de processamento e precisão (CHAI, 2011). Com relação às fachadas de argamassa com pintura, distinguem-se duas linhas de pesquisa. Uma representada por Garrido (2010) e Santos (2018), com uma quantificação mais rigorosa das áreas, através do uso de software que corrige a distorção das imagens (ortogonolização), sobrepõe as imagens parciais e mede a área degradada.

Na outra linha de pesquisa, representada por Chai (2011), o levantamento dimensional da fachada, assim como a quantificação das áreas degradadas foi realizado através de fotografias, tentando ao máximo evitar a distorção e complementado por informação dimensional recolhida no local com uma trena, e, eventualmente, posterior tratamento de dados através da reprodução da fachada, à escala, com suas respectivas medidas. Essa metodologia, embora menos precisa, tem maior facilidade de empregabilidade, não se limitando ao uso de softwares específicos.

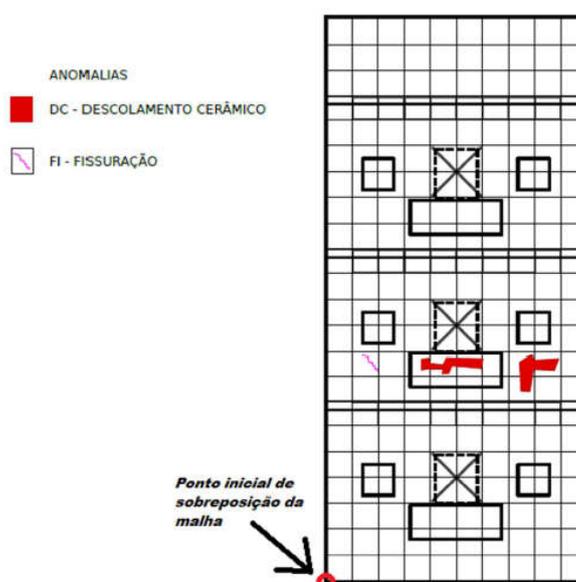
Obtidas as dimensões dos elementos da fachada, para a quantificação das áreas degradadas distinguem-se duas formas. Uma utilizada nos trabalhos portugueses (Gaspar, 2009; Sousa, 2008; Silva, 2009; Chai, 2011) onde a área de cada patologia é quantificada, de acordo com suas dimensões. A outra, proposta por Silva (2014) e utilizada por Pinheiro (2016), Souza (2016) e Santos (2018), baseia-se na sobreposição de uma malha de dimensões de 0,50 m x 0,50 m, equivalente a 0,25 m², sobre as amostras. Definindo assim a área de influência das

manifestações patológicas, como exemplo a fissura que não deve ser contabilizada apenas como uma linha.

Essa dimensão das unidades da malha foi definida de acordo com um estudo realizado por Silva (2014), em que várias dimensões de malha foram verificadas, identificando se a dimensão adotada (0,50 x 0,50 m) como a mais adequada.

É definido um ponto inicial da amostra, o ponto inferior esquerdo. Em seguida, é realizada a contagem das unidades de malha em que esteja presente algum tipo de manifestação patológica. O valor encontrado, multiplicado pela área de cada unidade de malha (0,25 m²), fornece a área afetada por cada manifestação (SILVA, 2014). A Figura 17 apresenta um esquema ilustrativo da sobreposição da malha em uma fachada.

Figura 17 – Esquema ilustrativo de sobreposição da malha



Fonte: Souza (2016)

4.3.2 Análise da fachada por regiões

A análise da fachada por regiões permite identificar quais destas regiões são mais susceptíveis à ocorrência de manifestações patológicas. Gaspar e Brito (2005) propuseram o estudo das fachadas em 6 regiões: próximo ao nível do solo; sobre paredes contínuas; próximo às aberturas (janelas, portas, etc.); em parapeitos, abaixo de cornijas, rufos e beirais; abaixo de sacadas ou varandas; e nos cantos e extremidades. Antunes (2010) estudou 8 regiões, além destas 6, acrescentou : acerca das juntas, e em havendo ausência de juntas de movimentação horizontal a cada pé direito; e na transição entre pavimentos. Silva (2014) estudou 7 regiões,

não analisando próximo ao nível do solo devido a sua amostra se tratar apenas de edifícios do tipo pilotis. As análises estatísticas apresentadas pela autora mostraram que as regiões de transição entre pavimentos e juntas entre pavimentos possuem o mesmo comportamento, podendo ser analisadas como uma única região.

4.3.3 Manifestações patológicas estudadas

Com relação às manifestações patológicas em revestimentos de argamassa pintados, Gaspar e Brito (2008 e 2011) dividiram-nas em 3 classes: manchas, fissuras e descolamentos. Chai (2011) analisou apenas as manifestações patológicas da pintura, classificando-as em: manchas e alterações cromáticas, fissuração e perda de aderência. Santos (2018) analisou as manifestações patológicas em revestimentos de argamassa pintados dividindo-as em manifestações do revestimento em argamassa (descolamento, fissura, pulverulência, eflorescência e mancha) e da camada de pintura (descolamento, fissura e bolha).

Mesmo que o sistema seja analisado por partes, existe uma interação entre os elementos do sistema, onde uma manifestação patológica que ocorra em uma camada acaba afetando as demais. Por exemplo, uma fissura ou um descolamento que ocorra na camada de argamassa irá se apresentar também na camada de pintura. Da mesma forma, uma fissura ou um descolamento que ocorra na camada de pintura irá afetar o desempenho do revestimento em argamassa.

As manifestações patológicas podem afetar a estética, a funcionalidade e/ou a segurança do sistema de revestimento. As manchas e alterações cromáticas, por exemplo, são anomalias estéticas, alteram a aparência da fachada, mas não comprometem a funcionalidade e a segurança do sistema. As fissuras, que precedem os descolamentos, além de afetarem a estética, comprometem a funcionalidade do revestimento, principalmente no requisito de estanqueidade. Quando não recebem o devido tratamento, acabam evoluindo para manifestações patológicas mais graves como o descolamento, que além de afetar a estética e a funcionalidade, compromete a segurança do sistema e de seus usuários.

4.3.4 Importância relativa de cada manifestação patológica

A constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas ($k_{c,n}$) representa a importância relativa que cada manifestação patológica desempenha no processo de

degradação das fachadas. Por exemplo, uma mancha tem uma importância diferente de uma fissura que por sua vez tem uma importância diferente de um descolamento.

A gravidade de uma anomalia é influenciada por diversos fatores, tais como o cumprimento das exigências mínimas, a sua propensão para originar novas anomalias ou o seu custo de reparação (SILVA, 2009).

Sousa (2008), Silva (2009), Gaspar e Brito (2011), Silva (2014); Galbusera (2014) e Souza (2016) definiram esta constante em função do custo de reparação das anomalias. Os valores utilizados por Gaspar e Brito (2011) para fachadas com revestimento em argamassa encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Importância relativa dos defeitos ($k_{a,n}$) para cada nível de acordo com o custo de reparo dos revestimentos

Nível	Manchas		Fissuras		Descolamentos	
1	$k_{a,n} = 0,12$	2,50 €/m ²	$k_{a,n} = 0,95$	20,50 €/m ²	$k_{a,n} = 1,53$	33,00 €/m ²
2	$k_{a,n} = 0,53$	11,50 €/m ²	$k_{a,n} = 0,95$	20,50 €/m ²	$k_{a,n} = 1,53$	33,00 €/m ²
3	$k_{a,n} = 0,53$	11,50 €/m ²	$k_{a,n} = 1,12$	24,00 €/m ²	$k_{a,n} = 1,53$	33,00 €/m ²
4	$k_{a,n} = 0,53$	11,50 €/m ²	$k_{a,n} = 1,53$	33,00 €/m ²	$k_{a,n} = 1,53$	33,00 €/m ²

Fonte: Gaspar; Brito (2011)

Chai (2011) testou vários cenários, com diferentes pesos relativos entre as anomalias, buscando o que melhor traduzisse a realidade física registrada. Destes, o que apresentou melhores resultados foi: $k_{c,n} = 0,25$ para manchas e alterações cromáticas, $k_{c,n} = 1,00$ para fissuras e para pulverulência e $k_{c,n} = 1,50$ para perda de aderência.

Santos (2018) definiu esta constante com base numa matriz de correlação entre as causas prováveis e as manifestações patológicas e numa matriz associativa entre as patologias e a queda de desempenho. Desta forma, ele obteve os seguintes valores: para a camada de argamassa, $k_{c,n} = 0,86$ para descolamentos, $k_{c,n} = 1,00$ para fissuras, $k_{c,n} = 0,44$ para pulverulência, $k_{c,n} = 0,29$ para eflorescências, $k_{c,n} = 0,24$ para manchas; para a pintura, $k_{c,n} = 0,19$ para descolamentos, $k_{c,n} = 0,07$ para fissuras e $k_{c,n} = 0,08$ para bolhas.

De modo geral, percebe-se que quanto maior a gravidade de uma manifestação patológica, seja devido a sua propensão para originar novas anomalias, seja devido ao seu custo de reparação, maior será a sua importância relativa e maior será o valor do $k_{a,n}$.

4.3.5 Níveis de degradação

Os níveis de degradação permitem avaliar o estado em que a fachada se encontra em função da degradação. A definição destes níveis ocorre em função da deterioração visual, perda de funcionalidade, custo de reparo, consequências esperadas e/ou risco (GASPAR; BRITO, 2008). No Quadro 6, são apresentadas algumas destas classificações.

Quadro 6 – Níveis de degradação

Autor	Condição mais favorável →			Condição menos favorável	
Marteinsson (2003)	0: escopo mínimo / defeitos raros (menos de 5% do plano afetado)	1: Algum escopo / defeitos ocasionais (5 a 33% do plano afetado)	2: escopo considerável / defeitos generalizados (34–66% do plano afetado)	3: escopo grave / quase totalmente defeituoso (mais de 67% do plano afetado)	
Balaras <i>et al.</i> (2005)	(a) Boas condições. Não são necessários trabalhos	(b) Alguma deterioração. Alguma reforma incluindo manutenção	(c) Deterioração média. Remodelação extensa, incluindo manutenção	(d) A vida útil terminou. Substituição imediata ou reparo extensivo necessário	
Shohet <i>et al.</i> (2002)	5: Sem sinais de deterioração	4: Sinais de incipiente Deterioração	3: Deterioração Em progresso	2: Falha grave	1: Componente com desempenho menos de 20%
Kirkham, Boussabaine (2005)	A: Elemento novo, com uma vida útil como predito	B: Elemento operativo com pequenas indicações de deterioração	C: elemento operativo, sujeito a reparo dentro dos próximos 3 anos	D: Elemento prestes a colapso ou mau funcionamento	
Gaspar, Brito (2008)	0: melhor condição	1: boa condição, área afetada menor que 5%	2: leve degradação, área afetada entre 5 e 10%	3: ampla degradação, área afetada entre 11 e 30%	4: pior condição, área afetada maior que 30%
Chai (2011)*	0: $S_{w,p} < 1\%$	1: $1 \leq S_{w,p} < 10\%$	2: $10 \leq S_{w,p} < 20\%$	3: $20 \leq S_{w,p} < 40\%$, representando o limite da vida útil	4: $S_{w,p} \geq 40\%$
Santos (2018)**	0: sem degradação visível	1: edifício em boas condições, com ocorrência de danos igual ou abaixo de 50%	2: amostra apresentando degradação leve, na qual a extensão dos danos abranja entre 50 e 80%	3: amostra com degradação moderada, com extensão de danos entre 80 e 90%. Este nível corresponde ao fim da vida útil do revestimento	4: degradação generalizada, o revestimento já não atende aos requisitos a ele impostos, com mais de 90% de extensão das patologias

* $S_{w,p}$ é a severidade da degradação

**Percentagem referida a área degradada por determinada manifestação patológica com base no Fator de Danos (FD)

Fonte: adaptado de Gaspar; Brito (2008)

Percebe-se que há uma convergência entre a classificação dos autores nas definições dos níveis de degradação, indo da condição mais favorável que representa o elemento novo, até a condição menos favorável que representa o fim da vida útil.

Quando a degradação foi estudada através da severidade ($S_{w,p}$), com base no modelo de Gaspar (2009), os autores Silva (2009), Chai (2011) e Galbusera (2014) consideraram o fim da vida útil como sendo o nível 3, quando a severidade é maior ou igual a 20%.

4.4 RESUMO

A vida útil é o período de tempo em que um sistema consegue atender aos requisitos de desempenho estabelecidos de acordo com as características de projeto e exigências dos usuários. Desta forma, a vida útil não é um valor absoluto, sendo influenciada por critérios técnicos e decisões humanas que definirão o limite de aceitação em qualquer modelo.

A previsão de vida útil pode ser feita através de modelos que analisam os fatores que influenciam o processo de degradação. Estes modelos podem ser classificados em: determinísticos, probabilísticos ou de engenharia.

A escolha de um desses modelos deve considerar suas vantagens e limitações, como complexidade, tempo e custo de processamento e uso de software específico.

O método gráfico, determinístico, baseia-se na construção de curvas de degradação que permitem modelar o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo. É um método simples, de baixo custo e tempo de processamento, não necessita de software específico e possibilita avaliar o desempenho real do sistema.

Essa metodologia foi aplicada para análise de diferentes sistemas de revestimento (reboco, cerâmico, pétreo, pintura, concreto aparente e sistemas compostos com isolamento externo) combinando diversos fatores no fenômeno da degradação como idade, cor do revestimento, tipo de substrato, dimensões da placa, distância do mar e frequência de manutenção.

Seu princípio fundamental é quantificar a degradação, transformando-a em um índice numérico que possa ser avaliado ao longo do tempo. Para isto, é necessária a definição de alguns parâmetros: levantamento dimensional, quantificação das áreas, regiões da fachada analisadas, manifestações patológicas estudadas e importância relativa de cada uma no processo de degradação.

5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia adotada nesse trabalho é a análise da degradação dos revestimentos de argamassa com acabamento em pintura através da construção de curvas de degradação. Ela é baseada nas pesquisas discutidas no item 4.2, que quantificam a degradação através de inspeções, transformando-a em um índice numérico que traduza o estado geral de degradação dos revestimentos e que possa ser avaliado ao longo do tempo.

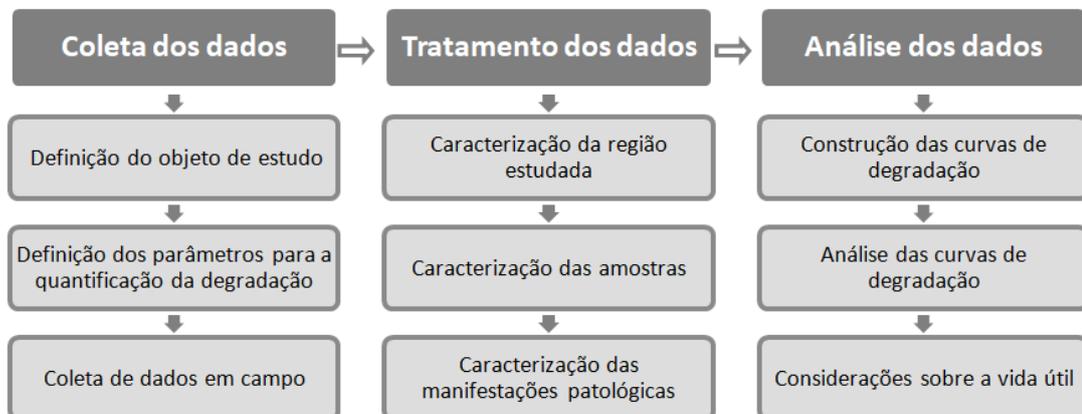
Esse índice, proposto por Gaspar (2009), é estimado com base em alguns parâmetros: área total da fachada, área degradada, níveis de degradação estabelecidos, manifestações patológicas estudadas e importância relativa de cada uma delas.

A análise da degradação foi realizada através da construção de curvas de degradação que só permitem analisar a degradação dos revestimentos com a idade ou com as características escolhidas individualmente do revestimento, o que impede a avaliação geral dos efeitos da interação dos agentes de degradação. E, por se tratar de um método determinístico, ignora a aleatoriedade associada ao fenômeno de degradação e os erros aleatórios associados à previsão de vida útil.

No entanto, é uma metodologia simples, com baixo custo e tempo de processamento, não necessita de software específico, possibilita avaliar o desempenho real do sistema de revestimento e vários trabalhos obtiveram bons resultados com a aplicação deste modelo, conforme discutido no item 4.2.8.

As etapas do desenvolvimento do programa experimental adotado neste trabalho estão apresentadas no fluxograma da Figura 18 e descritas nos itens a seguir.

Figura 18 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: O Autor (2020)

5.1 COLETA DE DADOS

A etapa de coleta de dados consistiu na definição do objeto de estudo deste trabalho, na definição dos parâmetros para a quantificação da degradação e na coleta de dados em campo.

5.1.1 Definição do objeto de estudo

A Região Metropolitana de Recife (RMR), e especialmente a cidade do Recife, possui um grande número de edificações habitacionais com 3 ou 4 pavimentos de 2 ou 4 apartamentos por andar, muitas delas construídas entre as décadas de 70, 80 e 90 para habitações populares (PIRES SOBRINHO *et al.*, 2012). Mesmo as construídas mais recentemente, ainda que não adotando a técnica construtiva de prédio-caixão (atualmente proibida), em sua maioria seguem esta tipologia. Isso é resultante da não obrigatoriedade de instalação de elevadores para edificações de até 4 pavimentos.

O sistema de revestimento das fachadas em argamassa com acabamento em pintura é predominante nessa tipologia, haja vista o seu reduzido custo inicial comparado a alternativas como o revestimento cerâmico.

Contudo, por se tratar de edificações de habitação popular, muitas vezes a qualidade dos materiais e da execução é negligenciada, o que pode acelerar o processo de degradação. Além disso, não existe uma cultura consolidada sobre a importância da manutenção. Desta forma, na maioria dos casos, não é feita uma gestão de recursos dos seus moradores para ações de manutenção, sendo muitas vezes realizadas apenas ações de manutenção emergenciais, como por exemplo, quando se rompe uma tubulação.

Ações de manutenção preventiva ou rotineira, na maioria das vezes, são vistas como um gasto e não como um investimento que pode evitar dispendiosas ações de manutenção corretiva. Quando são realizadas atividades de manutenção, na maioria dos casos, elas têm apenas efeito paliativo, não tratando da causa do problema, e recorrendo a serviços sem acompanhamento técnico, devido ao seu menor preço.

Por se tratar de um edifício com a presença de vários usuários que vivem em sociedade, as intervenções devem ser aprovadas em assembléia pelo condomínio. No entanto, a situação financeira de alguns é tão difícil, que, muitas vezes, existe inadimplência da taxa regular do condomínio, gerando relutância em taxas extras.

Dessa forma, as ações de manutenção às vezes são parciais, sendo realizadas apenas no primeiro pavimento da edificação por se tratar de uma região de fácil acesso, sem a necessidade de andaimes; ou sendo realizadas apenas na fachada de algum apartamento, custeada pelo seu usuário, quando o condomínio não consegue realizar uma manutenção completa da fachada. Essas ações de manutenção parcial estão ilustradas na Foto 9.

Foto 9 – Ilustrações de ações de manutenção parciais



Fonte: O Autor (2019)

Quando se tratam de edificações mais antigas, muitas vezes elas não possuem sistemas para internet, telefonia, antena e ar condicionado, sendo realizadas intervenções indevidas nas fachadas, que quando não são por si próprias manifestações patológicas, são fontes de outras manifestações patológicas, como ilustrado na Foto 10.

Foto 10 – Exemplo de intervenções indevidas nas fachadas



Fonte: O Autor (2019)

Soma-se a esses fatores, o fato de o Recife ser uma cidade litorânea, urbana e de clima tropical. Pontos que serão discutidos no item 5.3 e que favorecem a degradação desse sistema de revestimento que já possui uma vida útil menor que outras soluções como o cerâmico. Isso gera um desconforto visual dos usuários, que muitas vezes têm o imóvel em que moram como o seu maior patrimônio, e dos habitantes da cidade.

Diante do exposto, o objeto de estudo escolhido para esse trabalho foram os edifícios residenciais, localizados na cidade de Recife, com 3 ou 4 pavimentos com revestimento em argamassa, acabamento em pintura, com esquadrias em alumínio e que já tenham passado por alguma repintura, sendo o ano da última repintura da fachada conhecido.

Não está no escopo deste trabalho avaliar parâmetros específicos como espessura da camada de tinta, tipo de tinta, procedimentos e técnicas utilizadas, pois essas informações são de difícil acesso e isso reduziria o número de amostras. Um número de amostras reduzido não permitiria modelar de forma confiável a degradação.

5.1.2 Definição dos parâmetros para quantificação da degradação

Para a construção das curvas de degradação é necessário realizar a quantificação da degradação, transformando-a em um índice numérico que possa ser analisado ao longo do tempo. Neste trabalho, adotou-se a metodologia proposta por Gaspar (2009) e utilizada nos demais trabalhos discutidos no item 4.2. Este índice, denominado severidade da degradação (S_w), pode ser obtido pela Equação 15.

$$S_w = \frac{\sum(A_n \times k_n \times k_{c,n})}{(\sum K_{máx} \times A_t)} \quad (15)$$

Onde:

S_w – Severidade da degradação (%);

A_n – Área de fachada afetada por uma manifestação patológica (n) (m^2);

k_n – Constante de ponderação das manifestações patológicas (n), em função do nível de degradação;

$\sum K_{máx}$ – Somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição;

$k_{c,n}$ – Constante de ponderação da importância relativa das manifestações patológicas detectadas;

A_t – Área total da fachada (m^2).

A seguir, são feitas algumas considerações sobre os parâmetros da Equação 15: quantificação das áreas, manifestações patológicas consideradas, os níveis de degradação adotados e a constante de ponderação da importância relativa de cada manifestação patológica ($k_{c,n}$).

5.1.2.1 Quantificação das áreas

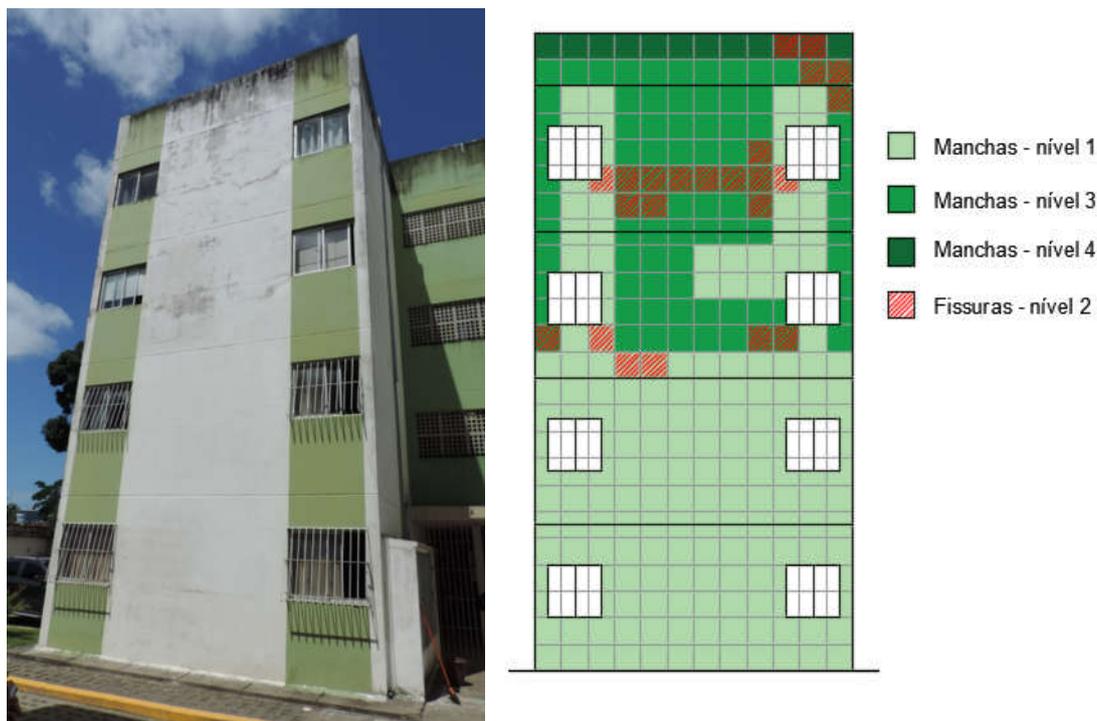
O levantamento dimensional consiste na obtenção das dimensões dos elementos das fachadas, conforme discutido no item 4.3.1. Neste trabalho, ele foi realizado com base na metodologia de Chai (2011). O levantamento dimensional da fachada, assim como a quantificação das áreas degradadas foi realizado através de fotografias, tentando ao máximo evitar a distorção e complementado por informação dimensional recolhida no local com uma trena, e, eventualmente, posterior tratamento de dados através da reprodução da fachada, à escala, com suas respectivas medidas. Adotou-se essa metodologia devido a sua maior facilidade de empregabilidade, não limitando o uso desse trabalho a softwares específicos.

Obtidas as dimensões dos elementos da fachada, quantificam-se as áreas da fachada e as áreas degradadas. Neste trabalho, a quantificação das áreas foi realizada com base na metodologia de Silva (2014).

É definido um ponto inicial, o ponto inferior esquerdo, para sobrepor uma malha de dimensões de 0,50 m x 0,50 m, equivalente a 0,25 m², sobre as amostras. Em seguida, é realizada a contagem das unidades de malha em que esteja presente algum tipo de manifestação patológica. O valor encontrado multiplicado pela área de cada unidade da malha (0,25 m²) fornece a área afetada por cada manifestação patológica. Isto permite analisar a área de influência das manifestações patológicas, como exemplo a fissura que não deve ser contabilizada apenas como uma linha. A Figura 19 apresenta um esquema ilustrativo da sobreposição da malha em uma fachada.

Uma adaptação feita à metodologia de Silva (2014) foi a aproximação das medidas da fachada para a dimensão superior mais próxima de um número múltiplo de 50 cm. Por exemplo, uma medida de 6,30 metros foi aproximada para 6,50 metros. Isso foi feito porque mesmo que uma parte da fachada não preenchesse uma unidade da malha, a presença de uma manifestação patológica nesta região implicaria na contagem de um dano na área degradada

Figura 19 – Esquema ilustrativo de sobreposição da malha



Fonte: O Autor (2019)

5.1.2.2 Manifestações patológicas analisadas

Nesse trabalho, conforme discutido no item 4.3.3, optou-se por analisar o sistema como um todo, não separando em argamassa e pintura, haja vista a interação que existe entre essas camadas desse sistema.

As manifestações patológicas investigadas foram classificadas em três grupos: manchas, fissuras e descolamentos. As manchas compreendem as alterações cromáticas e as manchas decorrentes de umidade e crescimento biológico. As fissuras englobam as fissuras na pintura e as fissuras e trincas na argamassa. Os descolamentos compreendem os descolamentos da camada de tinta, da camada de argamassa e os resultantes da corrosão de elementos de concreto armado da fachada. A distribuição das manifestações patológicas em cada grupo e em cada nível está apresentada no Quadro 7. No nível 1, por se tratar do estágio inicial da degradação, não foi considerada a existência de fissuras e descolamentos.

Quadro 7 – Manifestações patológicas analisadas

	Manchas	Fissuras	Descolamentos
Nível 1	Alteração de cor pouco perceptível Leves marcas de drenagem	-	-
Nível 2	Alteração de cor acentuada Leves sinais de eflorescência Crescimento biológico leve Marcas de drenagem moderadas	Fissuras na pintura	Bolhas e empolamento em pouca quantidade e dimensão de até 3 cm
Nível 3	Eflorescência Crescimento biológico moderado Marcas de drenagem acentuadas	Fissuras na argamassa	Descolamentos da pintura
Nível 4	Crescimento biológico acentuado	Trincas	Descolamentos da argamassa Corrosão de elementos em concreto armado

Fonte: O Autor (2020)

5.1.2.3 Importância relativa de cada manifestação patológica

Neste trabalho, a importância relativa de cada manifestação patológica foi definida com base no custo de reparação das mesmas, com base nos demais trabalhos e ajustando-se para o valor que melhor representasse a degradação, conforme discutido no item 4.3.4., sendo estes critérios adotados por diversos pesquisadores, como: Sousa (2008), Silva (2009), Gaspar e Brito (2011), Chai (2011), Silva (2014), Galbusera (2014) e Souza (2016). Os valores utilizados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Importância relativa de cada manifestação patológica

	Manchas	Fissuras	Descolamentos
Nível 1	0,25	-	-
Nível 2	0,50	1,0	1,5
Nível 3	0,50	1,0	1,5
Nível 4	0,50	1,5	2,0

Fonte: O Autor (2020)

5.1.2.4 Níveis de degradação

Neste trabalho, conforme discutido no item 4.3.5., foram adotados os 5 níveis de degradação propostos por Chai (2011) em função do valor da severidade da degradação. O Quadro 8 apresenta a classificação adotada. O fim da vida útil do revestimento é considerado quando ele atinge o nível 3, quando a severidade for maior ou igual a 20%.

Quadro 8 – Níveis de degradação adotados

Autor	Condição mais favorável →			Condição menos favorável	
Chai (2011)	0: melhor condição: $S_{w,p} < 1\%$	1: boa condição: $1 \leq S_{w,p} < 10\%$	2: leve degradação: $10 \leq S_{w,p} < 20\%$	3: ampla degradação $20 \leq S_{w,p} < 40\%$, representando o limite da vida útil	4: pior condição $S_{w,p} \geq 40\%$

* $S_{w,p}$ é a severidade da degradação

Fonte: Chai (2011)

5.1.3 Coleta de dados em campo

A coleta de dados consistiu na realização da inspeção visual e registro fotográfico dos edifícios. As inspeções visuais foram realizadas da forma mais rigorosa possível, sendo a informação registrada na ficha de inspeção e procedendo-se a registros fotográficos das fachadas estudadas, das manifestações patológicas existentes e das demais informações relevantes. O registro fotográfico foi, às vezes, complementado por croquis, sobretudo nos casos em que a fotografia não se revelou suficientemente perceptível, o que facilitou também a inserção de comentários relevantes.

O registro fotográfico baseou-se na metodologia de Santos (2018), sendo as fotografias realizadas em duas etapas: uma imagem geral, que permitisse uma visão da fachada como um todo e do seu entorno, seguida por imagens contemplando enquadramentos menores da fachada com resolução e tamanho suficientes para permitir a detecção e visualização das manifestações patológicas. A Foto 11 ilustra esse procedimento.

As imagens seguiram a ordem de cima para baixo e da esquerda para a direita, contendo uma sobreposição das regiões delimitadas no planejamento realizado inicialmente. Essa sobreposição é realizada para melhor compreensão das regiões afetadas por possíveis manifestações patológicas próximas ao limite do enquadramento e para minimizar possíveis distorções apresentadas nas extremidades das fotos, conforme se percebe na Foto 11.

Sempre que possível, as imagens de uma mesma fachada foram obtidas a partir do mesmo ponto referencial. Porém, nem sempre isto foi possível, devido à presença de árvores, edifícios vizinhos ou outros objetos que dificultaram a obtenção das imagens nesse mesmo ponto. Nesses casos as imagens podem ter sido obtidas a partir de posições referenciais distintas.

Foto 11 – Ilustração do procedimento do registro fotográfico



Fonte: O Autor (2019)

Durante o trabalho de campo também foram coletadas informações sobre a edificação: localização, idade da última intervenção, distância do mar e proximidade de fontes poluentes; e informações sobre as características dos revestimentos: orientação; cor; textura; influência da ação vento-chuva; detalhes construtivos; e geometria. A informação relativa à idade da última intervenção nas fachadas foi obtida com a administração dos condomínios ou com o síndico do edifício.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA

A Cidade do Recife é a Capital do Estado Brasileiro de Pernambuco (Figura 20). Com mais de 1,5 milhão de habitantes, a região metropolitana da capital pernambucana tem um aglomerado econômico de grande densidade e liderança regional, abrigando as principais indústrias do Estado e consolidando-se como um moderno polo de serviços. Recife é

considerado o primeiro polo gastronômico do Nordeste, o segundo polo médico do Brasil, além de abrigar o maior parque tecnológico do País, conhecido como Porto Digital⁴.

Figura 20 – Mapa do Brasil com destaque em Recife, Pernambuco



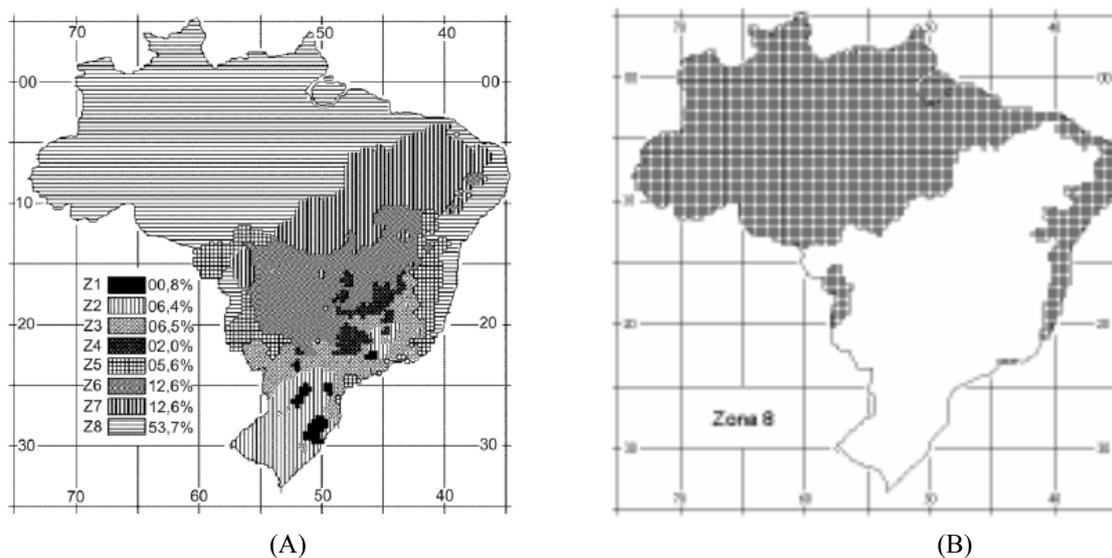
Fonte: Disponível em: <<https://www.britannica.com/place/Pernambuco>> Acessado em 29 de mar de 2019.

Conforme o zoneamento bioclimático do território brasileiro (ABNT NBR 15575-1:2013), dentre as oito zonas que agrupam regiões de climas semelhantes, a cidade de Recife se localiza na Zona 8 (Figura 21) que abrange 53,7% do território nacional. O zoneamento permite agrupar climas semelhantes e estabelecer diferentes características da construção em função desses ambientes.

O Recife possui um clima tropical úmido (classificação climática de Köppen-Geiger), típico do litoral leste nordestino, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C, elevada umidade relativa do ar, baixas amplitudes térmicas e precipitações abundantes ao longo do ano. Em um dia típico de verão a temperatura máxima registrada é de 31,4°C, com amplitude diária de 7,4°C. Em um dia típico de inverno a temperatura mínima registrada é de 18,8°C, com amplitude diária de 6,7°C (ABNT NBR 15575-1:2013).

⁴ Informação disponível em < <http://www2.recife.pe.gov.br/servico/cidade-1?op=NTMwMg==>>. Acesso em 29 de mar de 2019.

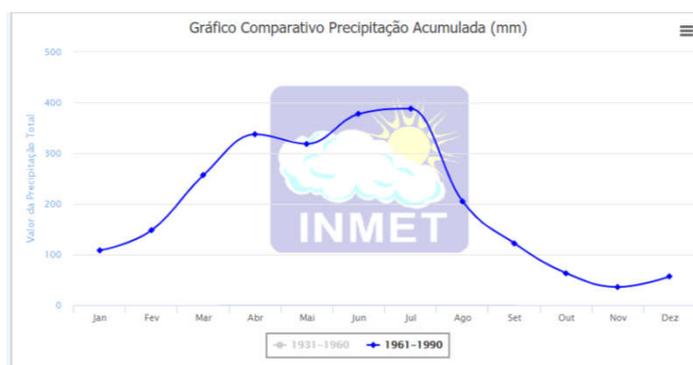
Figura 21 – (A) Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro e (B) Mapa com destaque à zona 8 onde se enquadra Recife-PE



Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

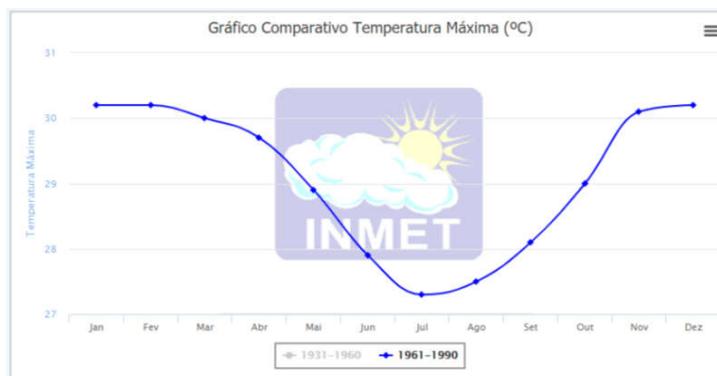
A temperatura média compensada anual de 25,5 °C, umidade relativa média anual de 78,3%, 2417,6 mm de precipitação anual e 2536,5 horas de sol por ano. Os três meses do ano mais quentes são: janeiro, fevereiro e março; e os três meses mais chuvosos: maio, junho e julho. A velocidade média anual do vento é de 5,16 m/s, com orientação predominante na direção sudeste para noroeste (INMET, 2018). As Figuras 22 a 29 apresentam os gráficos climatológicos da região e a rosa dos ventos.

Figura 22 – Gráfico Climatológico da precipitação acumulada de Recife – período de 1961-1990



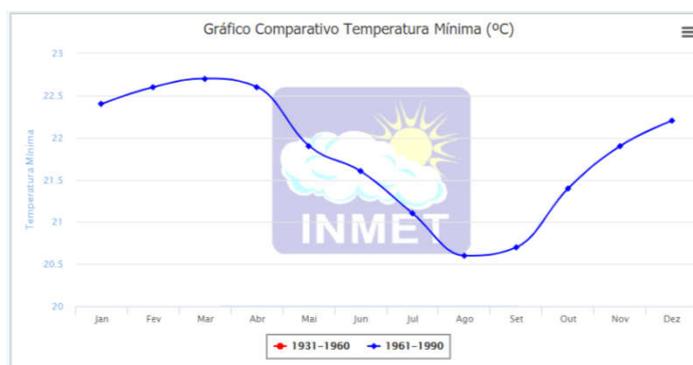
Fonte: INMET (2018)

Figura 23 – Gráfico Climatológico da temperatura máxima de Recife – período de 1961-1990



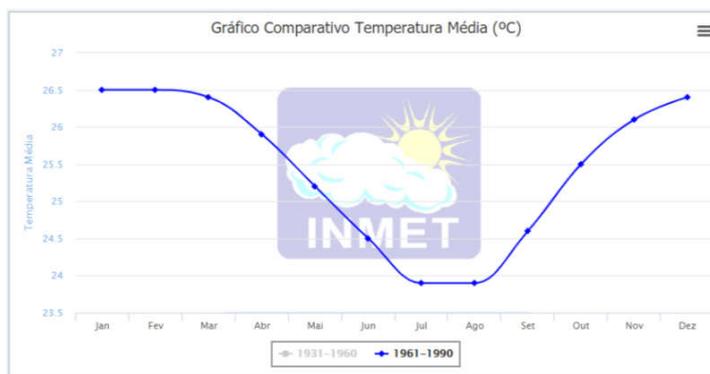
Fonte: INMET (2018)

Figura 24 – Gráfico Climatológico da temperatura mínima de Recife – período de 1961-1990



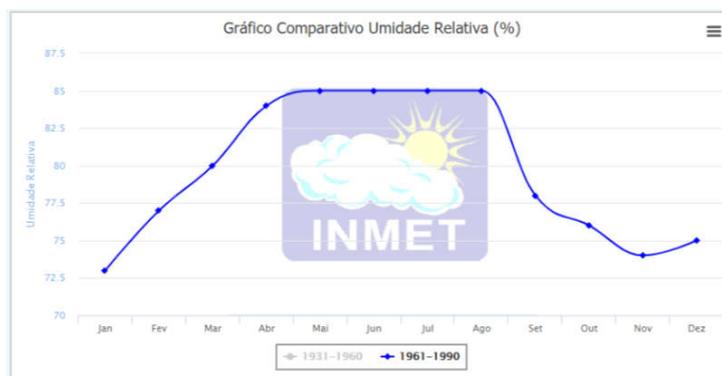
Fonte: INMET (2018)

Figura 25 – Gráfico Climatológico da temperatura média de Recife – período de 1961-1990



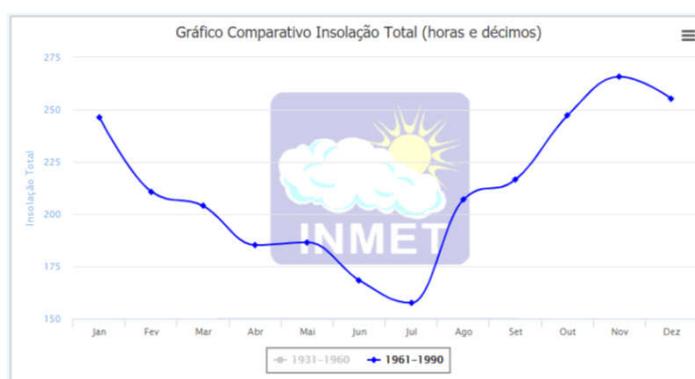
Fonte: INMET (2018)

Figura 26 – Gráfico Climatológico da umidade relativa de Recife – período de 1961-1990



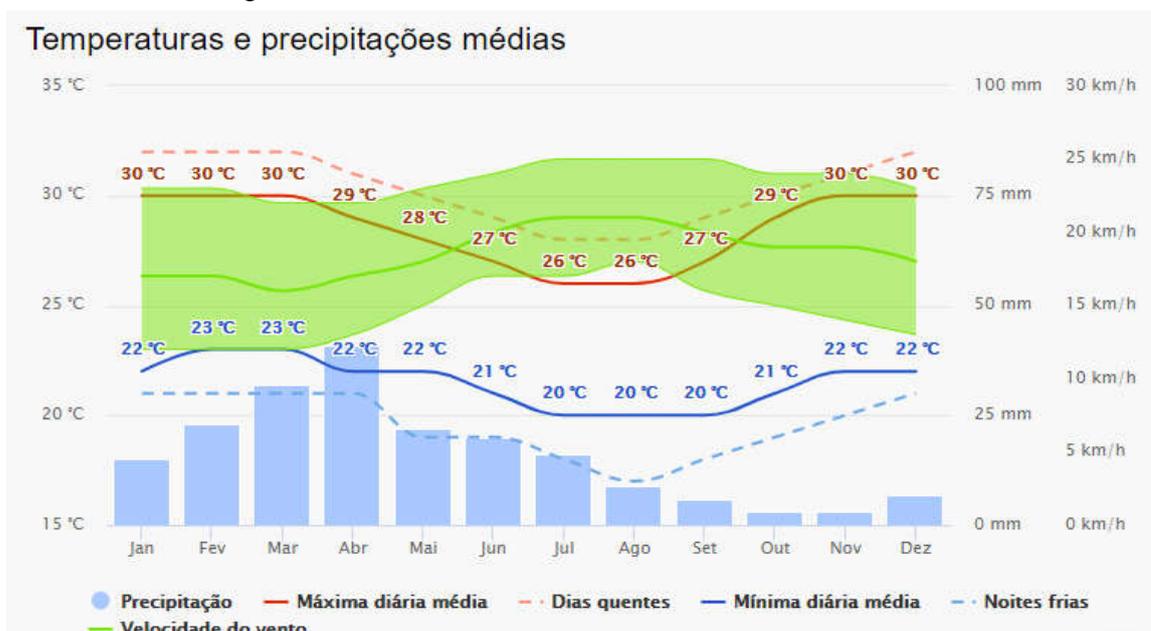
Fonte: INMET (2018)

Figura 27 – Gráfico Climatológico da insolação total em Recife – período de 1961-1990



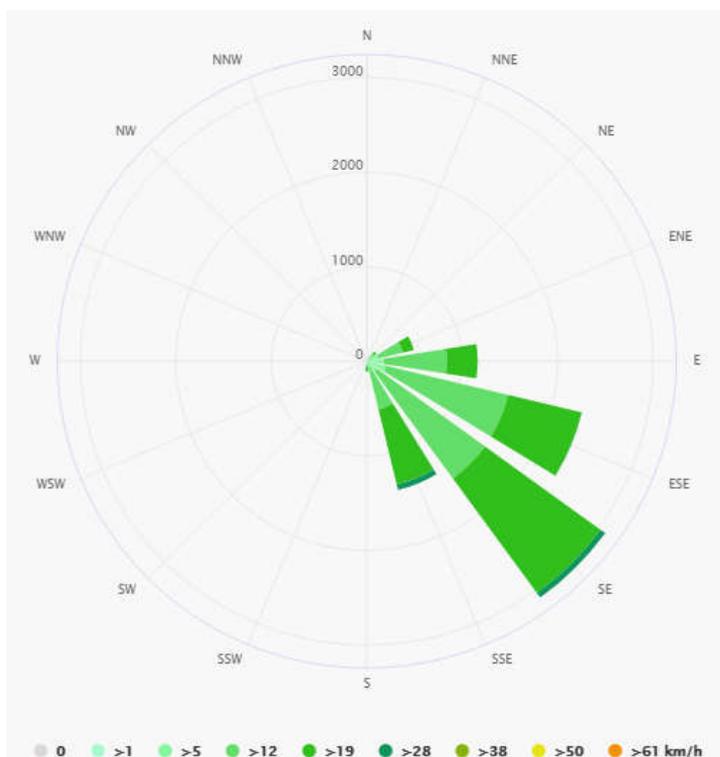
Fonte: INMET (2018)

Figura 28 – Gráfico resumo das características climáticas de Recife



Fonte: Disponível em <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatodelled/recife_brasil_3390760>. Acesso em 20 de Dez de 2019)

Figura 29 – Rosa dos ventos para Recife apresentando quantas horas por ano o vento sopra na direção indicada



Fonte: Disponível em <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/recife_brasil_3390760>. Acesso em 20 de Dez de 2019.

Dessa forma, conforme discutido no item 3.1, Recife possui características climáticas favoráveis à degradação dos revestimentos: clima sempre úmido (umidade sempre maior que 70%) e quente. A temperatura e a umidade são os principais agentes de degradação dos revestimentos. A umidade está relacionada ao aparecimento de manifestações patológicas como sujidades, eflorescência, carbonatação, alterações cromáticas, biodeterioração, desagregação e descolamentos. A temperatura está associada ao aparecimento de fissuras, trincas e descolamentos.

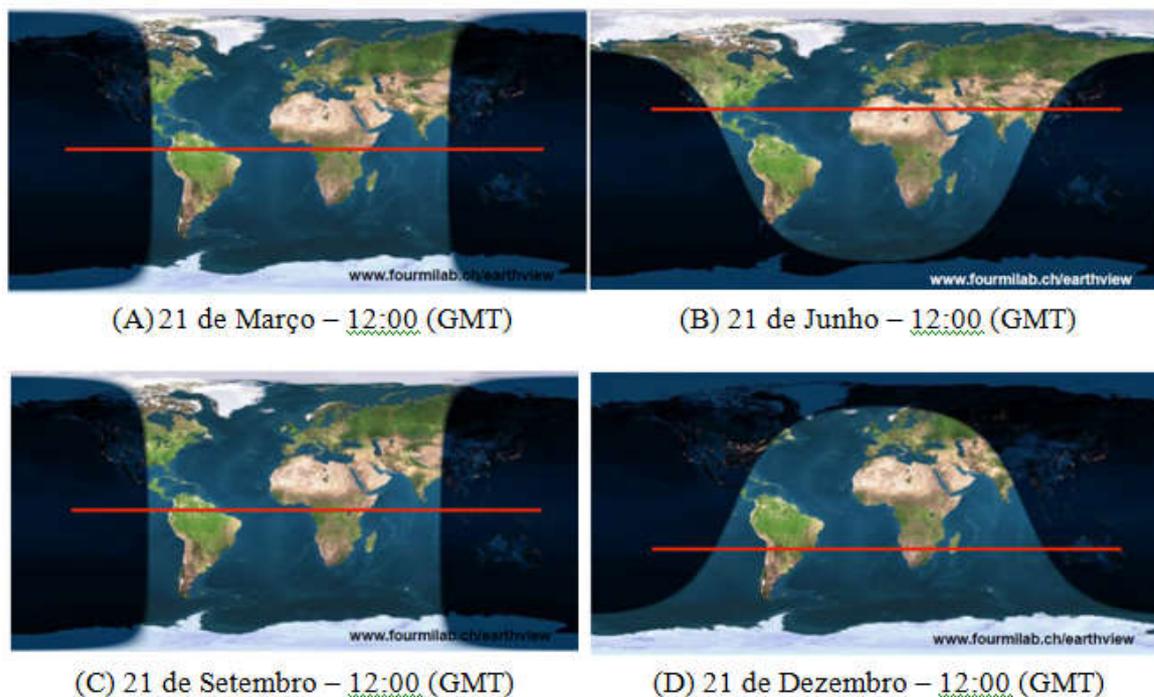
A cidade do Recife possui velocidade média anual do vento de 5,16 m/s e precipitação anual total de 2417,6 mm (INMET, 2018). Calculando o índice de chuva dirigida (DRI) através da Equação 2.1, conforme discutido no item 3.1.5, obtém-se o valor de 12,47. De acordo com a Tabela 3.2, este valor é considerado como um nível de exposição severa.

Além disto, conforme discutido nos itens 3.1.2.1. e 3.1.2.2., o fato de ser uma cidade urbana (grande quantidade de emissões de gases poluentes) e litorânea (névoa salina) também contribui para a degradação dos sistemas de revestimento.

A cidade do Recife está localizada no Hemisfério Sul, na Latitude: 08° 03' 14" S; e Longitude: 34° 52' 52" W. A Figura 30 apresenta as áreas sombreadas e as áreas ensolaradas

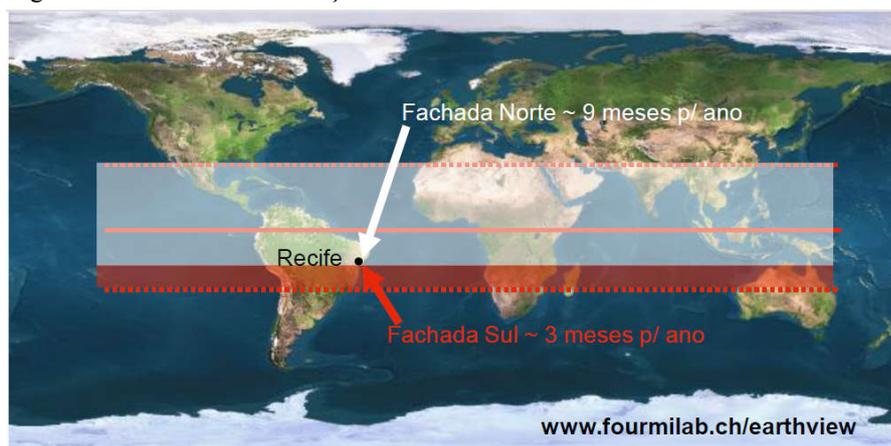
em quatro dias do ano. A linha vermelha representa o eixo da trajetória do sol ao redor da Terra. A Figura 31 apresenta um resumo da incidência solar nas fachadas dos edifícios localizados na cidade do Recife.

Figura 30 – Vista das áreas sombreadas e ensolaradas da Terra em quatro dias do ano



Fonte: Silva (2018)

Figura 31 – Resumo da insolação nas fachadas dos edifícios localizados em Recife



Fonte: Silva (2018)

Como se observa, na maior parte do ano (9 dos 12 meses), as fachadas de orientação sul não recebem incidência solar direta. Além disto, durante esta época, ocorre o período chuvoso (maio, junho e julho) e a orientação cardinal predominante dos ventos e consequentemente da

chuva dirigida é sudeste. Isto dificulta a secagem da água, favorecendo a presença de umidade nas fachadas voltadas para o sul.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ESTUDADOS

Foram estudados 28 edifícios distribuídos em 6 bairros (16 na Várzea, 4 na Imbiribeira, 3 na Tamarineira, 3 no Cordeiro, 1 em Afogados e 1 na Iputinga) da cidade do Recife, e identificados no mapa da Figura 32. A localização e demais informações sobre os edifícios estudados encontram-se no Apêndice A – Caracterização dos edifícios estudados.

Figura 32 - Localização dos edifícios estudados



Fonte: Google Maps (2020)

Dos 28 edifícios estudados, foram inspecionadas 236 fachadas, caracterizadas em fatores intrínsecos (relativos às características do próprio sistema de revestimento, à forma construída) e extrínsecos (relativos às características do meio em que o sistema está inserido), descritos nos itens a seguir.

5.3.1 Fatores intrínsecos

Os fatores intrínsecos estão relacionados com as características do sistema de revestimento, à forma construída. Neste trabalho foram analisadas a idade da última intervenção, a orientação cardinal das fachadas, a cor do revestimento, a textura do revestimento, a presença ou ausência de detalhes construtivos e a geometria das fachadas.

5.3.1.1 Idade da última intervenção

A idade considerada para análise das amostras é o tempo decorrido desde a última intervenção na fachada, no caso de fachadas que receberam alguma manutenção, ou o ano de construção.

Esse foi o mesmo critério adotado nos demais trabalhos (GASPAR; BRITO, 2008; SOUSA, 2008; SILVA, 2009; CHAI, 2011). Nesse trabalho, a idade é o tempo decorrido desde a última repintura, sendo expresso em anos. Esta informação foi obtida durante a inspeção visual, em diálogo com a administração dos condomínios ou com o síndico do edifício.

O conhecimento deste parâmetro é fundamental, pois influenciará todos os resultados obtidos, haja vista que a degradação é modelada em função da idade.

Os edifícios analisados encontram-se no âmbito da vida útil de revestimentos de edifícios correntes, em condições normais de utilização e manutenção; interessando, assim, avaliar a degradação em revestimentos que se encontrem acima dos níveis mínimos exigidos, de forma a serem empreendidas ações de manutenção periódicas, com objetivo de os revestimentos serem substituídos ou reparados antes de atingirem patamares elevados de deterioração.

Uma vez excedidos os níveis mínimos aceitáveis, considera-se que o revestimento atingiu o fim da sua vida útil. Dessa forma, optou-se pelo intervalo de 15 anos, excedendo um pouco a vida útil superior de 12 anos para o sistema de pintura definida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). A distribuição das amostras em relação à idade da última intervenção é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Distribuição das amostras em relação à idade da última intervenção

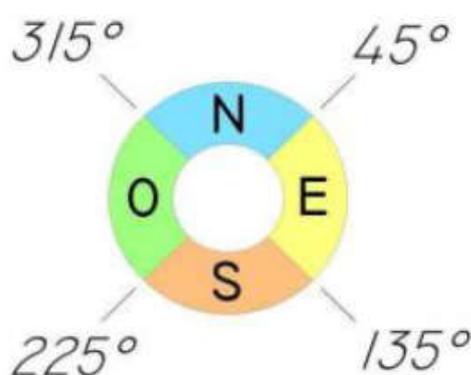
Idade (anos)	Edifícios analisados	Fachadas analisadas	Distribuição das fachadas em relação à idade (%)
0	1	6	2,5
2	2	9	3,8
3	1	6	2,5
4	2	12	5,1
5	6	41	17,4
6	4	73	30,9
7	1	6	2,5
8	3	42	17,8
9	3	14	5,9
10	1	12	5,1
11	1	5	2,1
12	1	3	1,3
13	1	3	1,3
15	1	4	1,7
Total	28	236	100,0

Fonte: O Autor (2020)

5.3.1.2 Orientação cardinal das fachadas

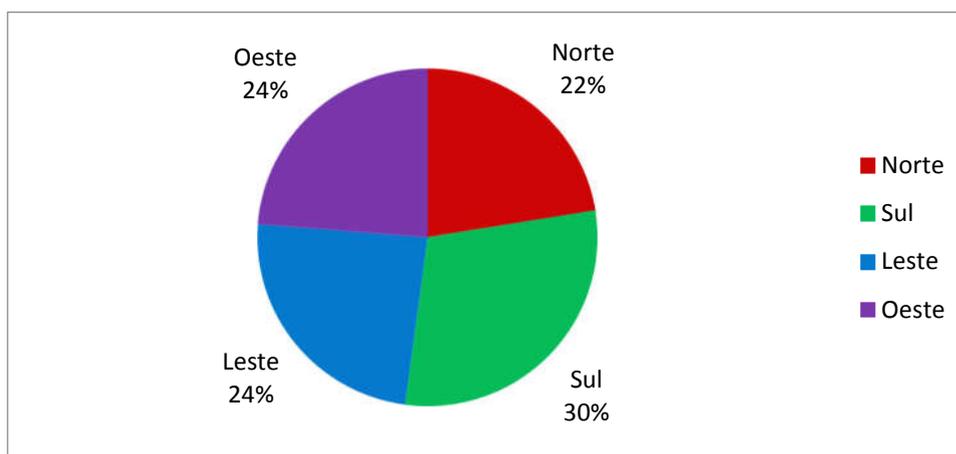
Para classificação das fachadas em relação à orientação cardinal foram adotados os critérios utilizados por diversos pesquisadores como Garrido (2010), Chai (2011), Silva (2014), Souza (2016) e Santos (2018). As amostras foram classificadas em 4 categorias: Norte (orientações compreendidas entre 315° e 45°), Sul (entre 135° e 225°), Leste (entre 45° e 135°) e Oeste (entre 225° e 315°). Esta classificação encontra-se representada na Figura 33. A distribuição das amostras em relação à orientação está apresentada no gráfico da Figura 34.

Figura 33 - Sistema de classificação da orientação cardinal das fachadas analisadas



Fonte: Garrido (2010)

Figura 34 – Distribuição das amostras em relação à orientação



Fonte: O Autor (2020)

5.3.1.3 Cor do revestimento

As fachadas foram classificadas em quatro grupos em relação à cor em função do coeficiente de absorção solar. Foram adotados os critérios utilizados por Matos (2007) e Chai (2011), apresentados na Tabela 6 e ilustrados na Foto 12.

Tabela 6 – Coeficiente de absorção da radiação solar em relação à cor

Cor	Valor do coeficiente de absorção da radiação solar
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, cor-de-laranja, cor-de-rosa claro	0,3 a 0,5
Cor-de-rosa escuro, Verde claro, Azul claro	0,5 a 0,7
Castanho, Verde escuro, Azul escuro	0,7 a 0,9

Fonte: Matos (2007)

Foto 12 – Exemplos de cada grupo em função da cor: (A) Branco; (B) Amarelo, bege; (C) Verde claro, azul claro; e (D) Verde escuro, azul escuro



(A)



(B)



(C)

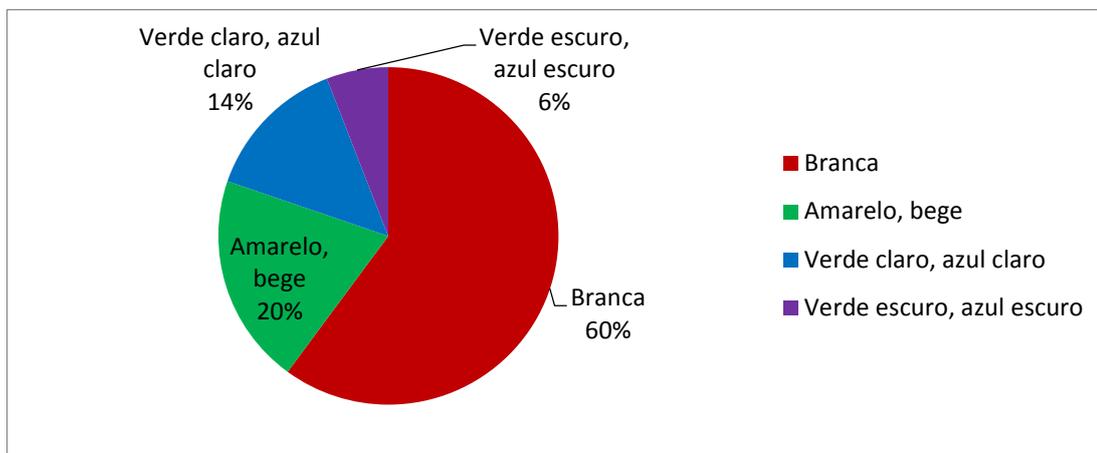


(D)

Fonte: O Autor (2019)

Para simplificar a análise, as fachadas foram avaliadas em relação à cor predominante. A distribuição das amostras em relação à cor está apresentada no gráfico da Figura 35.

Figura 35 - Distribuição das amostras em relação à cor

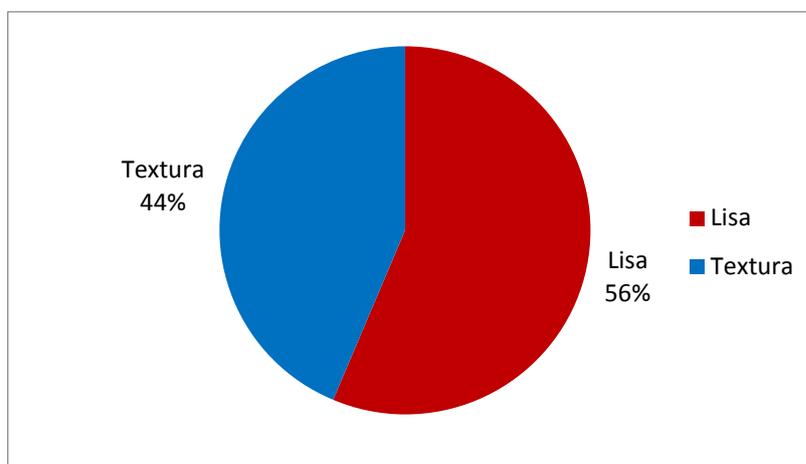


Fonte: O Autor (2020)

5.3.1.4 Textura do revestimento

As fachadas foram classificadas em relação à textura do revestimento em duas categorias: acabamento **liso** e acabamento rugoso (**textura**). A distribuição das amostras em relação à textura é apresentada no gráfico da Figura 36.

Figura 36 - Distribuição das amostras em relação à textura



Fonte: O Autor (2020)

5.3.1.5 Detalhes construtivos

Como discutido no item 3.2.1, a ausência ou a presença de detalhes construtivos irá influenciar, principalmente a ação da lâmina de água que escorre sobre a fachada durante as precipitações. Dos vários detalhes construtivos existentes (beirais, pingadeiras, peitoris, cornijas), analisando o universo amostral estudado, as fachadas variaram apenas com relação à presença ou não de frisos (Foto 13), sendo as amostras classificadas conforme este

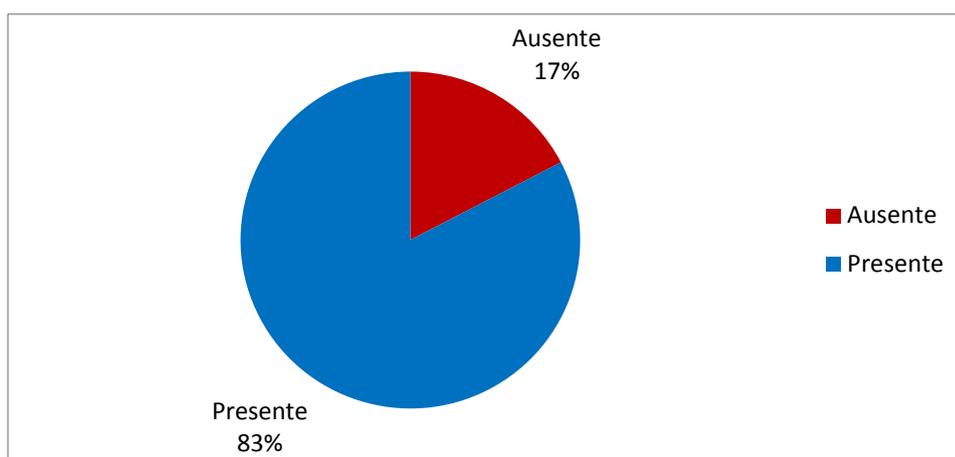
parâmetro. A distribuição das amostras em relação à presença de detalhes construtivos está apresentada no gráfico da Figura 37.

Foto 13 – Fachada (A) sem friso e (B) com friso



Fonte: O Autor (2019)

Figura 37 - Distribuição das amostras em relação à presença de detalhes construtivos



Fonte: O Autor (2020)

5.3.1.6 Geometria das fachadas

Conforme discutido no item 3.2.1, as amostras foram divididas em geometria volumétrica **corrente** e **irregular**. A geometria corrente é a forma compacta, caracterizada por fachadas planas regulares, enquanto que as fachadas irregulares são caracterizadas pela presença de reentrâncias e projeções, como ilustrado na Foto 14. A distribuição das amostras em relação à geometria está apresentada no gráfico da Figura 38.

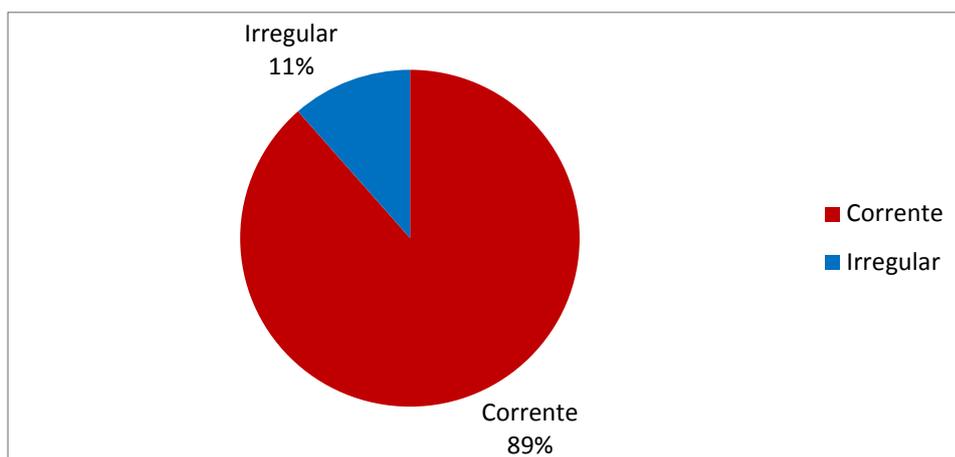
Foto 14 – Fachada (A) corrente e (B) irregular



(A) Fonte: O Autor (2019)

(B)

Figura 38 - Distribuição das amostras em relação à geometria



Fonte: O Autor (2020)

5.3.2 Fatores extrínsecos

Os fatores extrínsecos estão relacionados com as características do meio em que o sistema de revestimento está inserido. Neste trabalho foram analisadas a distância do mar, a proximidade de fontes poluentes e a influência da ação vento-chuva.

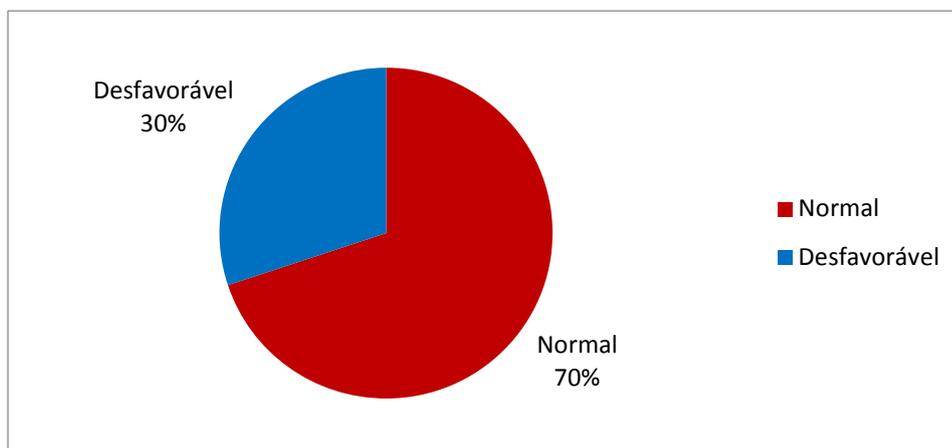
5.3.2.1 Distância do mar

Em relação à distância do mar, conforme discutido no item 3.1.2.1, foram adotados os critérios de Ferreira (2004):

- **normal**, para as situações de edifícios localizados a mais de 5 km da linha da costa;
- **desfavorável**, para as situações de edifícios localizados em zonas até 5 km da costa ou sob influência direta de ventos dominantes soprados do mar;

- **incidência direta**, para edifícios localizados a menos de 1 km da linha da costa.
- O gráfico da Figura 39 apresenta a distribuição das amostras em relação à distância do mar. Como se pode notar, no universo amostral desta pesquisa, não foi estudado nenhum edifício localizado a menos de 1 km da linha da costa.

Figura 39 - Distribuição das amostras em relação à distância do mar



Fonte: O Autor (2020)

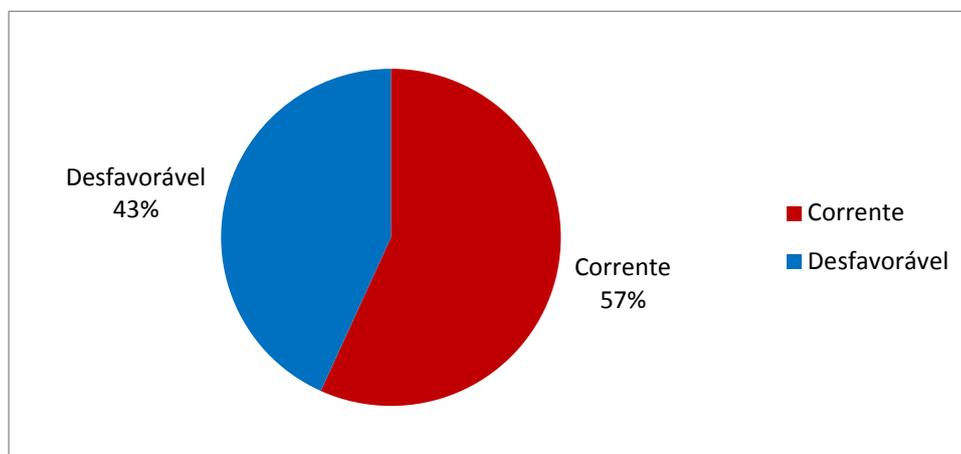
5.3.2.2 Proximidade de fontes poluentes

Conforme discutido no item 3.1.2.2., adotou-se a classificação de Gaspar (2009), classificando os revestimentos em duas situações:

- **corrente**, para situações de edifícios em meio urbano com tráfego reduzido a moderado (zonas residenciais fora dos eixos principais viários);
- **desfavorável**, para situações de edifícios junto ou próximos a vias urbanas principais.

A distribuição das amostras em relação à proximidade de poluentes está apresentada no gráfico da Figura 40.

Figura 40 - Distribuição das amostras em relação à proximidade de poluentes



Fonte: O Autor (2020)

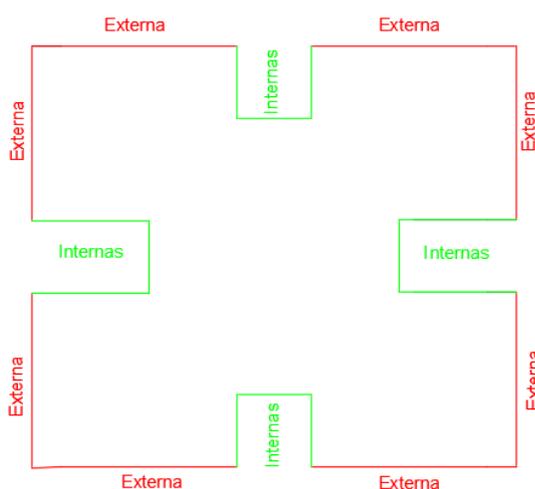
5.3.2.3 Influência da ação vento-chuva

Conforme discutido no item 3.1.2., o entorno da edificação irá influenciar a ação do vento e da chuva. Chai (2011) classifica os edifícios em duas situações:

- **normal**, para edifícios em contextos urbanos densos, protegidos por outras construções, pela topografia ou por vegetação do lado dos ventos;
- **severa**, para situações de edifícios localizados em descampados ou em cruzamento de vias.

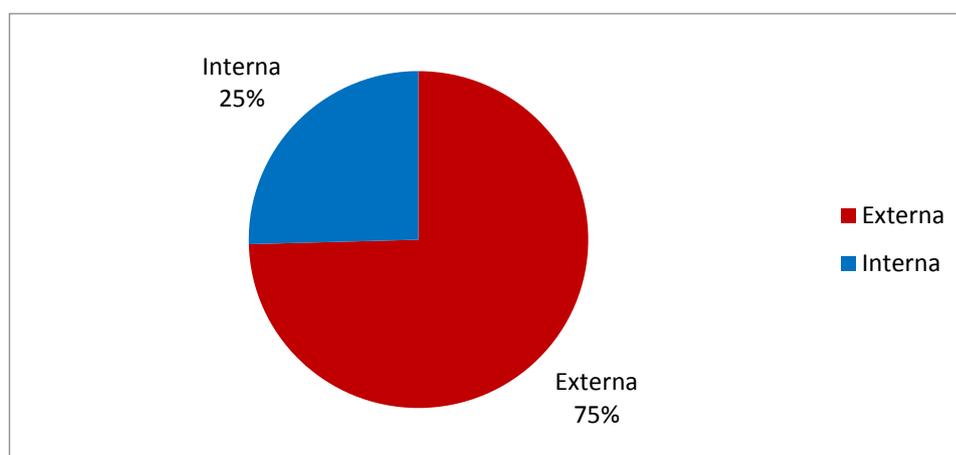
Nesse trabalho, as fachadas foram classificadas em **internas** e **externas**. As fachadas internas são aquelas protegidas por outras, sendo as demais externas. A Figura 41 e a Foto 15 apresentam um exemplo dessa classificação. O gráfico da Figura 42 apresenta a distribuição das amostras em relação à influência da ação vento-chuva.

Figura 41 – Esquema ilustrativo de classificação das fachadas com relação a influência da ação vento-chuva



Fonte: O Autor (2020)

Figura 42 - Distribuição das amostras em relação à influência da ação vento-chuva



Fonte: O Autor (2020)

Foto 15 – Fachadas (A) internas e (B) externas



(A)



(B)

Fonte: O Autor (2019)

5.3.3 Resumo da caracterização dos revestimentos

Ao todo foram inspecionadas 236 fachadas de 28 edifícios estudados localizados na cidade do Recife. Os edifícios foram identificados de EDF A até EDF ZB. As fachadas foram identificadas como FXYZ, onde a letra F representa a palavra fachada; a letra X varia de A até ZB e indica a qual edifício a fachada pertence; a letra Y identifica o número da fachada analisada na orientação Z; e a letra Z identifica a orientação da fachada, podendo ser N (Norte), S (Sul), L (Leste) ou O (Oeste). Exemplificando a identificação das amostras, a fachada FA1N representa a primeira fachada da orientação norte analisada no edifício A. A caracterização das amostras encontra-se no Apêndice B. As fachadas foram caracterizadas em fatores intrínsecos e extrínsecos:

- **idade** da última intervenção, expressa em anos;
- **orientação** cardinal das fachadas: Norte (**N**), Sul (**S**), Leste (**L**) ou Oeste (**O**);
- **cor** do revestimento: Branco (**B**), Amarelo, cor-de-laranja ou cor-de-rosa claro (**A**), cor-de-rosa escuro, verde claro ou azul claro (**C**) e castanho, verde escuro ou azul claro (**E**);
- **textura** do revestimento: liso (**L**) ou textura (**T**);
- presença ou ausência de **detalhes construtivos**: presente (**P**) ou ausente (**A**);
- **geometria** das fachadas: corrente (**C**) ou irregular (**I**);
- **distância do mar**: normal (>5 km) e desfavorável (**entre 1 e 5 km**);
- **proximidade de fontes poluentes**: corrente (**C**) ou desfavorável (**D**);
- e influência da **ação vento-chuva**: externa (**E**) ou interna (**I**).

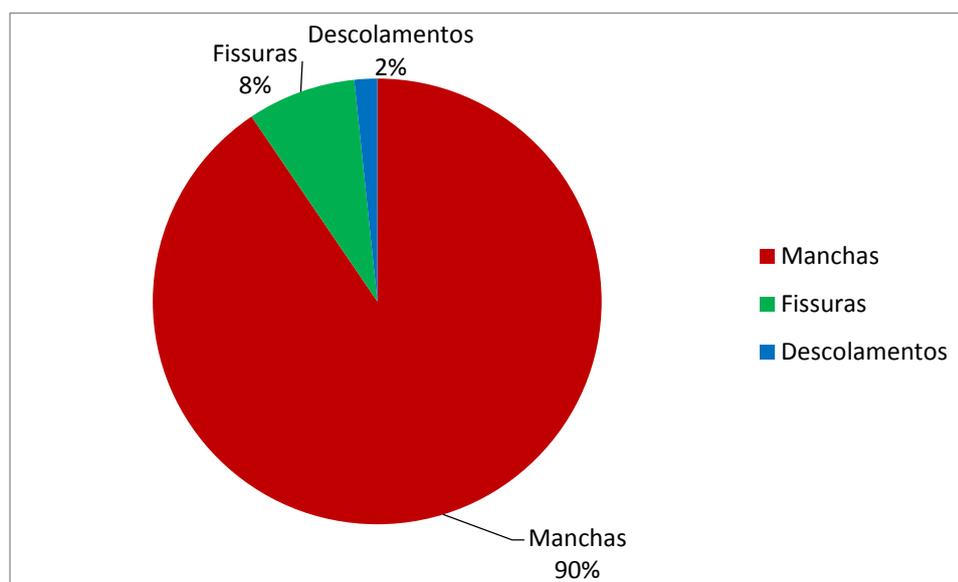
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os principais resultados obtidos nesta dissertação: a caracterização das manifestações patológicas analisadas, as curvas de degradação das fachadas e dos edifícios estudados, a análise da influência dos fatores intrínsecos e extrínsecos no processo de degradação e as considerações sobre a vida útil dos revestimentos analisados.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ANALISADAS

Nesta pesquisa, foram analisadas 236 fachadas de 28 edificações. Com a quantificação da área degradada por cada manifestação patológica, foi possível analisar a ocorrência de cada uma delas, apresentada na Figura 43. Os dados das áreas degradadas de cada fachada encontram-se no Apêndice B.

Figura 43 – Ocorrência das patologias nas amostras analisadas



Fonte: O Autor (2020)

Observa-se o predomínio (90%) das manchas nas amostras estudadas. Neste grupo de manifestações patológicas estão inclusos: as manchas decorrentes de alterações de cor, sujidades, eflorescências e crescimento biológico. Depois das manchas, numa ocorrência bem menor, 8 e 2 %, respectivamente, seguem as fissuras (da pintura e da argamassa) e os descolamentos (da pintura e da argamassa).

Essa distribuição, com a predominância de manchas, assemelha-se a de Gaspar (2009) que estudou os revestimentos em argamassa em Lisboa (Portugal) e observou a predominância de manchas, seguida por perdas de aderência e ocorrências menores e pontuais de fissuração.

Chai (2011), analisando o sistema de pintura em edificações em Portugal, também observou a predominância das manchas (54%). Pacheco (2016), analisando manifestações patológicas em revestimentos de argamassa em Vitória- ES, também observou a ocorrência de manchas como principal manifestação patológica, embora numa menor quantidade (29%), seguida pelas fissuras (21%) e em menor número o descolamento de argamassa (2%) e da pintura (8%).

Por outro lado, Santos (2018), estudando os edifícios em Brasília, observou que a predominância de fissuras (52%), seguida pelas manchas (27%), e pelas patologias de pintura (fissura, descolamento e bolhas representando 7%, 6% e 5% respectivamente) totalizando 18%. As demais patologias somadas (descolamento, pulverulência e eflorescência) representaram apenas 3% do total. Resultado semelhante ao obtido por Macedo (2017) que também estudou edifícios em Brasília: fissuras – 45%; manchas – 37%; patologias de pintura – 13% (descolamento – 6%; bolhas – 4%; e fissuras – 3%); e demais patologias (descolamento, pulverulência e eflorescência) somando 5%.

Estas distribuições variam em função das características das amostras e da região estudada. Regiões de clima quente e úmido, como o Recife, estão mais sujeitas ao surgimento de manchas decorrentes de crescimento biológico. Regiões de clima mais seco, como é o caso de Brasília, são menos susceptíveis ao aparecimento de manchas e mais favoráveis ao surgimento de fissuras.

6.2 INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO CARDEAL

Para uma análise inicial da influência da orientação cardinal no processo de degradação foi calculada a distribuição das manifestações patológicas em função da orientação cardinal, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição das manifestações patológicas em função da orientação cardinal

Orientação	Distribuição das manifestações patológicas (%)									
	Manchas (Nível)				Fissuras (Nível)			Descolamento (Nível)		
	1	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Norte	34,4	40,6	13,2	5,4	0,0	5,3	0,0	0,7	0,2	0,2
Sul	9,4	24,7	21,9	35,4	0,0	6,5	0,2	0,1	1,5	0,2
Leste	13,9	21,2	38,1	14,6	0,2	9,9	0,2	0,0	1,6	0,3
Oeste	27,5	33,6	21,8	7,2	0,1	8,0	0,4	0,1	0,8	0,6
Total	20,1	29,2	24,4	16,9	0,1	7,5	0,2	0,2	1,1	0,3

Fonte: O Autor (2020)

Com relação às manchas, nas fachadas de orientação Norte, essa manifestação patológica concentrou-se nos níveis mais baixos, níveis 1 e 2; nas de orientação Oeste, distribuiu-se nos níveis 1, 2 e 3; nas de orientação Leste, concentrou-se nos níveis intermediários, 2 e 3; já na orientação Sul, houve uma tendência a níveis mais elevados, com uma maior concentração no nível 4. Esta distribuição indica uma tendência das fachadas Sul serem mais susceptíveis à degradação por manchas, enquanto as fachadas Norte são as menos susceptíveis.

Com relação às fissuras, as de nível 2 e 4, apresentaram valores muito baixos, inferiores a 0,4%. Com relação às fissuras de nível 3, a fachada mais afetada foi a Leste e a menos afetada foi a Norte.

Com relação aos descolamentos, todos os níveis apresentaram valores muito baixos, menores que 1,6%. Ainda assim, analisando os valores obtidos, percebe-se uma tendência da fachada Norte ser a menos afetada.

Dos dados obtidos, percebe-se que as fachadas de orientação Norte são as menos afetadas pela degradação enquanto as de orientação Sul são as mais afetadas. Esta análise da influência da orientação cardinal no processo de degradação será aprofundada no item 6.3.1, com a análise das curvas de degradação.

6.3 ANÁLISE DAS CURVAS DE DEGRADAÇÃO

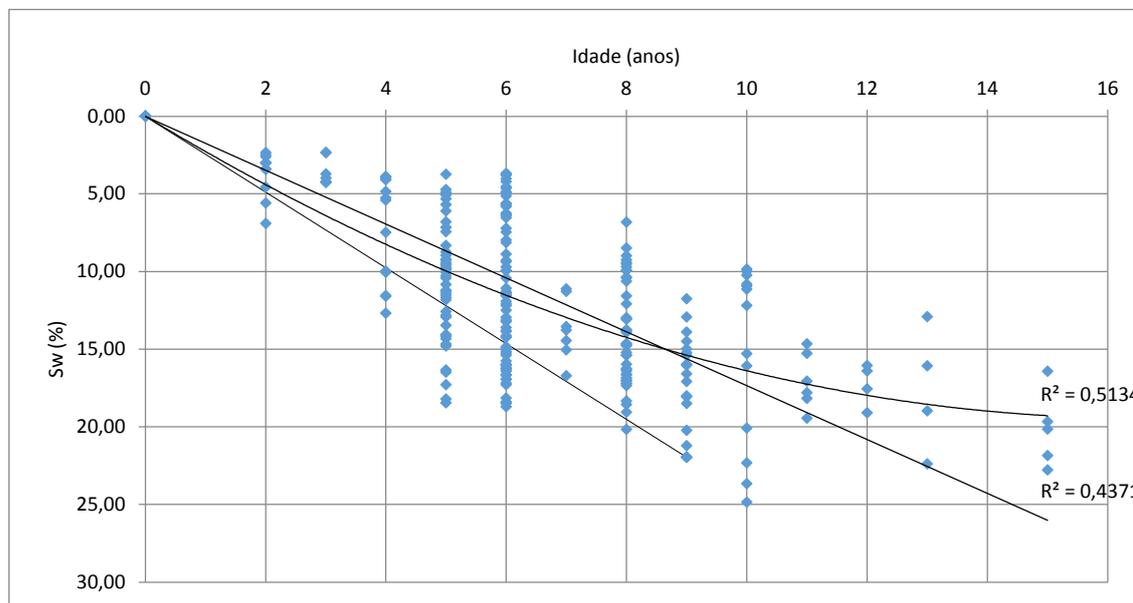
Com a quantificação das áreas totais e das áreas degradadas de cada fachada em função dos parâmetros definidos no item 5.1.2, foi calculada a severidade da degradação (S_w) de cada uma das 236 fachadas analisadas dos 28 edifícios. Os valores dos índices de degradação de cada fachada encontram-se no Apêndice B. A análise deste índice ao longo do tempo origina as curvas de degradação.

O gráfico da Figura 44 apresenta as curvas de degradação com regressão linear e polinomial, das 236 fachadas analisadas, com o índice de degradação (S_w) em função da idade da última intervenção da fachada.

Observa-se certa dispersão entre os pontos que compõem as curvas da Figura 6.2. Isto é esperado, tendo em vista que o processo de degradação é regido por vários fatores (intrínsecos e extrínsecos) que resultam em níveis de degradação diferentes mesmo para as fachadas de uma mesma edificação. De acordo com Garrido (2010), a obtenção de pontos sem dispersão significaria que a degradação é influenciada por nenhum fator, sendo iguais para qualquer

revestimento, independentemente das suas características e do seu contexto de aplicação o que não condiz com a realidade.

Figura 44 – Curvas de degradação (linear e polinomial) das 236 fachadas analisadas



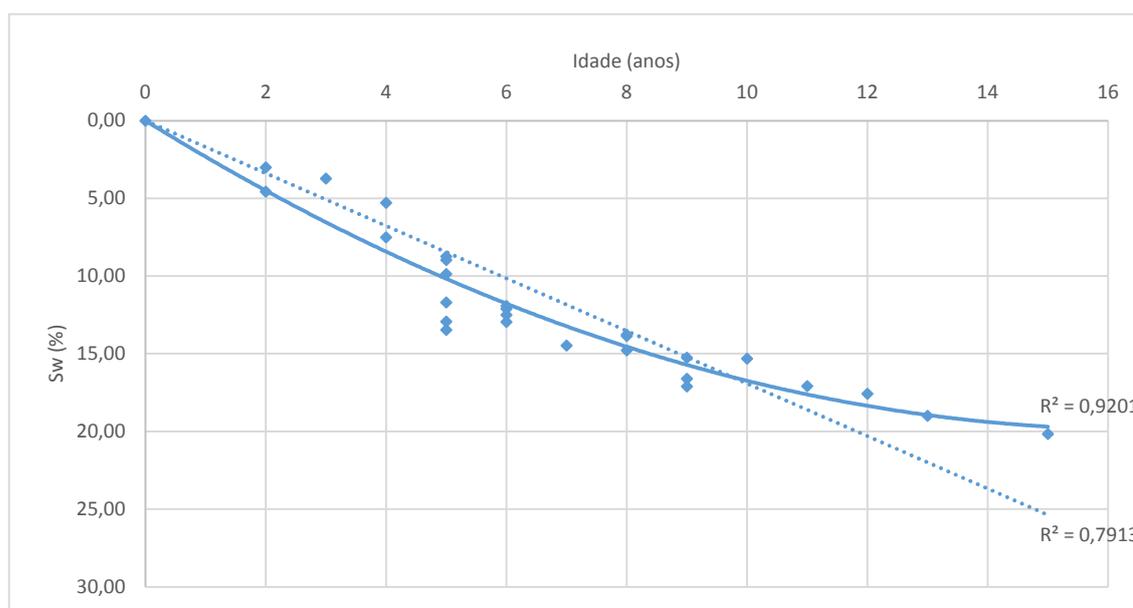
Fonte: O Autor (2020)

O coeficiente de correlação (R^2), correspondente ao quadrado do coeficiente de correlação momentânea do produto de Pearson, avalia a proporção da variância dos valores de y (severidade) em relação à variância x (idade da última intervenção). Este parâmetro varia entre 0 (correlação nula) e 1 (correlação perfeita). Uma análise das curvas revela que ambas (regressão linear e polinomial de segundo grau) apresentam valores de R^2 moderados (R^2 de 0.44 e 0.51, respectivamente), sendo que a curva polinomial é a que melhor corresponde ao padrão de degradação da amostra estudada. Neste caso, a variabilidade da degradação (variável dependente) é explicada a 51% pelo modelo, ou seja, 51% da variabilidade de y (degradação) é explicada por x (idade da última intervenção) e 49% deve-se a outros fatores.

Com relação à configuração obtida para a curva polinomial, esta revela um desenvolvimento côncavo, expressando uma tendência dos revestimentos de se degradarem aceleradamente nas idades iniciais e com o decorrer do tempo, esta degradação se torna menos acelerada. Segundo Shoet *et al.* (1999) este comportamento é característico de degradações provocadas pela ação de microorganismos que podem provocar manchas ou, a ocorrência de eflorescências. Embora esta configuração seja diferente da obtida por Gaspar (2009), Chai (2011) e Santos (2018), ela condiz com a principal manifestação patológica observada nas fachadas analisadas, as manchas.

A severidade da degradação foi então calculada para cada um dos 28 edifícios analisados. Para isto, somaram-se as áreas degradadas e as áreas de todas as fachadas analisadas para cada um dos edifícios. Os resultados encontram-se no Apêndice B. A Figura 45 apresenta as curvas de degradação (linear e polinomial) dos 28 edifícios analisados.

Figura 45 - Curvas de degradação (linear e polinomial) dos 28 edifícios analisados



Fonte: O Autor (2020)

As curvas de degradação dos edifícios apresentam o mesmo comportamento das curvas de degradação das fachadas: a degradação aumenta com o aumento da idade, forma côncava e a curva polinomial representa melhor a degradação que a curva linear. A variabilidade da degradação (variável dependente) é explicada 92% pelo modelo polinomial, ou seja, 92% da variabilidade de y (degradação) é explicada por x (idade da última intervenção) e 8% deve-se a outros fatores.

Percebe-se que a análise da degradação por edifícios apresenta uma dispersão bem menor que a análise por fachadas. Isto se deve ao fato que na análise por edifícios é eliminada a variabilidade da degradação das fachadas de um mesmo edifício.

Nos itens que seguem, as curvas de degradação são analisadas em função dos fatores intrínsecos (orientação, cor, textura, detalhes construtivos e geometria) e extrínsecos (distância do mar, proximidade de fontes poluentes, influência da ação vento-chuva).

Para os fatores que eram comuns a todas as fachadas de um mesmo edifício (textura, distância do mar e proximidade de fontes poluentes), as curvas de degradação foram analisadas para os

edifícios e para as fachadas. Para os demais fatores, as curvas de degradação foram analisadas só para as fachadas.

As curvas adotadas foram as resultantes de regressão polinomial devido à sua melhor correlação em comparação com a regressão linear e devido à melhor correspondência com o fenômeno da degradação. A curva polinomial, com desenvolvimento côncavo, expressa uma tendência dos revestimentos de se degradarem aceleradamente nas idades iniciais e com o decorrer do tempo, esta degradação se torna menos acelerada. Essa é a característica de degradações provocadas pela ação de microorganismos que provocam manchas, condizendo com a principal manifestação patológica observada nas fachadas analisadas, as manchas.

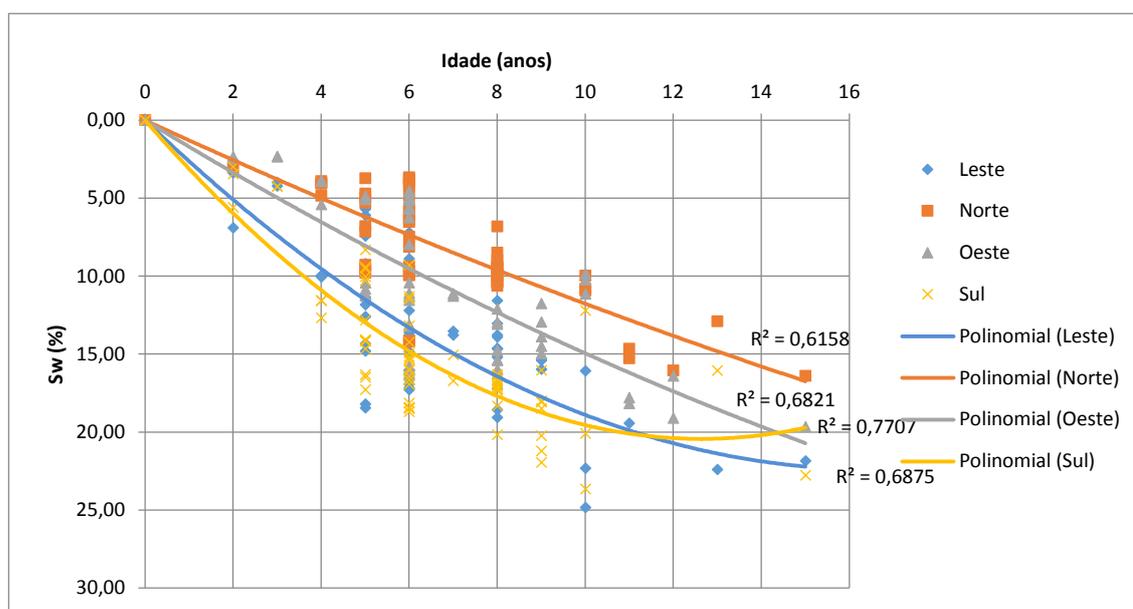
6.3.1 Fatores intrínsecos

Neste item serão analisadas as curvas de degradação em função dos fatores intrínsecos: a orientação cardinal das fachadas, a cor do revestimento, a textura do revestimento, a presença ou ausência de detalhes construtivos e a geometria das fachadas.

6.3.1.1 Orientação cardinal das fachadas

As curvas de degradação das fachadas em função da orientação cardinal estão apresentadas na Figura 46. Conforme discutido no item 5.3.1.2, as amostras estavam distribuídas em 4 grupos: Norte (22%), Sul (30%), Leste (24%) e Oeste (24%).

Figura 46 – Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da orientação



Fonte: O Autor (2020)

Como se pode observar, as curvas apresentaram correlações moderadas e o potencial de degradação cresce na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. Isto está de acordo com o discutido no item 5.2.1, caracterização da região estudada. As fachadas de orientação sul e leste são as mais degradadas em função da orientação predominante dos ventos sudeste, que consequentemente é a orientação da chuva dirigida. Além disso, na localização do Recife, Hemisfério Sul, as fachadas de orientação sul só recebem incidência de raios solares durante três meses do ano, estando sombreadas durante os outros nove meses, incluso neste período o inverno. Isto favorece a manutenção de um ambiente sempre úmido, o que propicia a proliferação de microorganismos que provocam o manchamento das fachadas, e consequentemente uma maior degradação. Esta orientação da incidência dos raios solares também é responsável pela menor degradação das fachadas norte.

As fachadas leste e oeste possuem padrões de degradação intermediários entre as sul e as norte. As de orientação leste possuem degradação maior do que as oeste devido à orientação predominante dos ventos na região, sudeste, que além de provocarem a chuva dirigida, carregam poluentes e umidade do mar, situado a leste.

Santos (2018), analisando os edifícios em Brasília, observou que as fachadas norte e sul são mais degradadas que as orientações oeste e leste. Contudo, a principal manifestação patológica dos edifícios analisados foram as fissuras que representaram 52% do total, e há uma tendência da ocorrência desta manifestação patológica em fachadas com maior incidência de raios solares que provocam variações térmicas nos materiais.

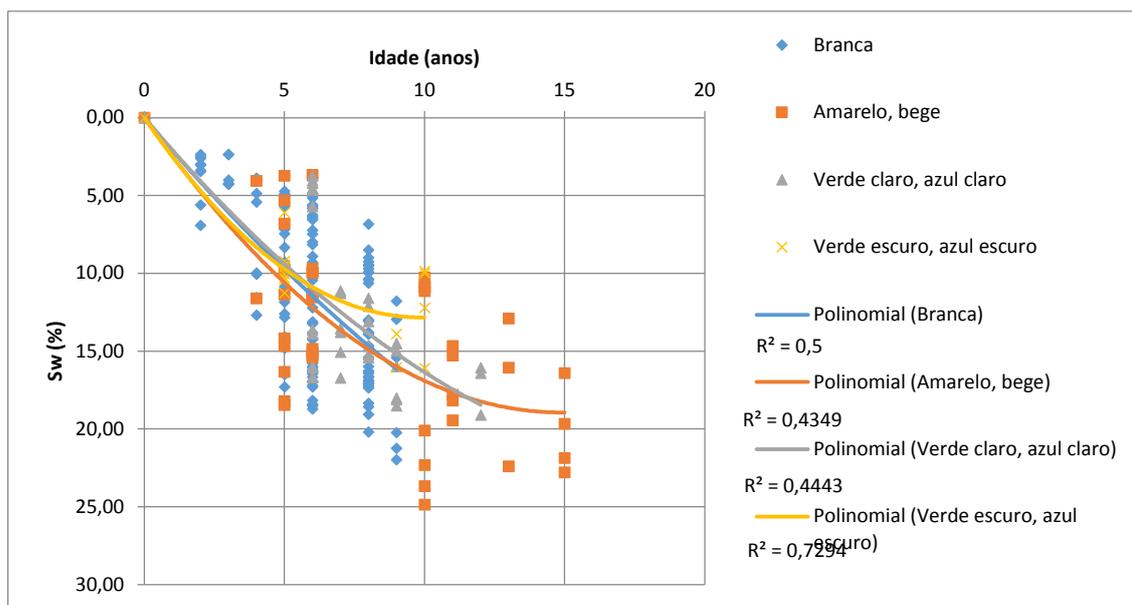
Neste trabalho, como a principal manifestação patológica encontrada foram as manchas, representando 90% do total, é esperado que elas tenham uma menor incidência nas fachadas não sombreadas.

Nas pesquisas de Garrido (2010) e Chai (2011) em edifícios de Portugal, esta influência da orientação cardinal na degradação também se verifica. Porém, como há uma inversão da orientação solar por estar situado no Hemisfério Norte, há também uma inversão da ocorrência das manifestações patológicas. Além disso, o mar português situa-se a sul e a oeste (FERREIRA, 2004). Com isso, nas fachadas analisadas, houve uma maior incidência de fissuração e alterações de cor e brilho em fachadas de orientação sul e oeste, e de manchas de origem biológica, em fachadas norte.

6.3.1.2 Cor do revestimento

As curvas de degradação das fachadas em função da cor do revestimento estão apresentadas na Figura 47. Conforme discutido no item 5.3.1.3, as amostras estavam distribuídas em 4 grupos: branca (60%), amarelo ou bege (20%), verde claro ou azul claro (14%) e verde escuro ou azul escuro (6%).

Figura 47 – Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da cor



Fonte: O Autor (2020)

Com relação à cor, não foi possível estabelecer padrões de degradações bem distintos. Chai (2011), analisando estas 4 categorias, também obteve resultados inconclusivos, com as curvas se cruzando e se sobrepondo na maioria de sua extensão. Um dos fatores que pode ter contribuído para isto foi a distribuição não homogênea das amostras.

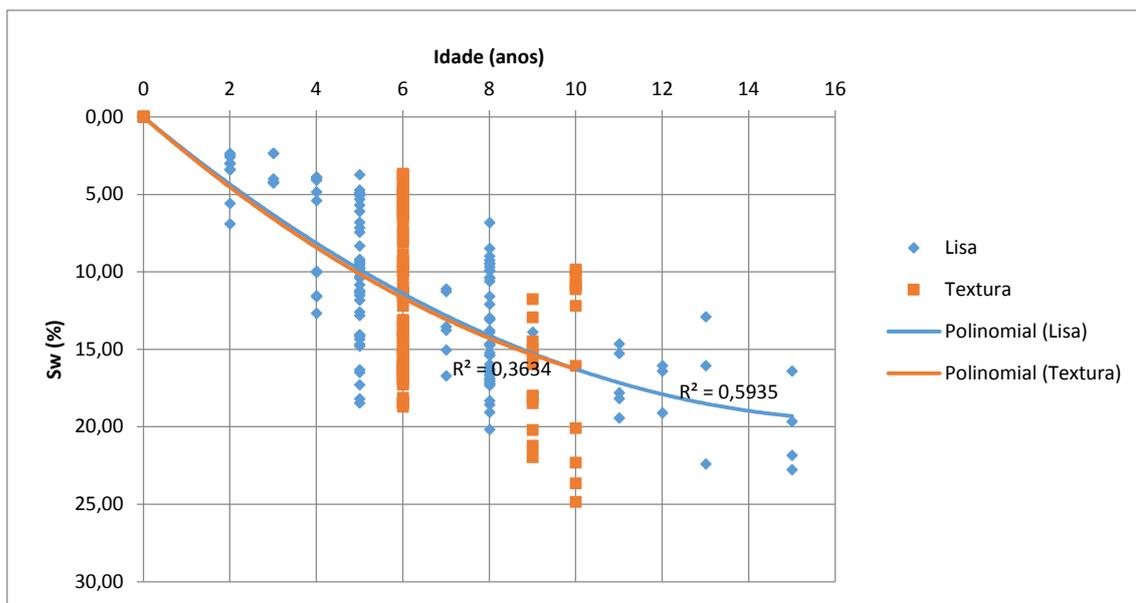
Contudo, percebe-se uma tendência das cores escuras apresentarem uma menor degradação que as claras. Durante as inspeções visuais observou-se uma tendência das cores claras serem mais susceptíveis ao manchamento e acúmulo de sujidades enquanto as cores mais escuras são mais susceptíveis às alterações cromáticas.

Isto confirma o que Poyastro (2011) afirma sobre as cores, que apesar da cor dos materiais não ser uma propriedade que influa diretamente no processo de formação das manchas, a intensidade com que se percebem as mesmas é diretamente proporcional ao contraste da cor e tonalidade entre os materiais de revestimento e o manchamento.

6.3.1.3 Textura do revestimento

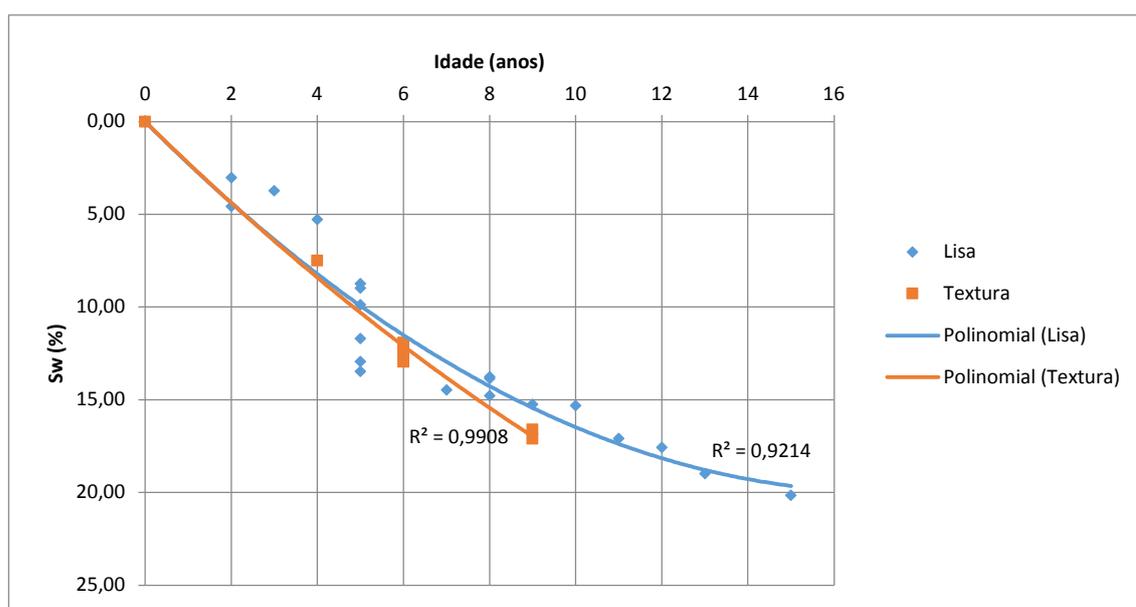
As curvas de degradação das fachadas e dos edifícios analisados em função da textura do revestimento estão apresentadas na Figura 48 e 49, respectivamente. Conforme discutido no item 5.3.1.4, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: lisa (56%) e textura (44%), para as fachadas; e, lisa (71%) e textura (29%) para os edifícios.

Figura 48 - Curvas de degradação das fachadas em função da textura



Fonte: O Autor (2020)

Figura 49 - Curvas de degradação dos edifícios em função da textura



Fonte: O Autor (2020)

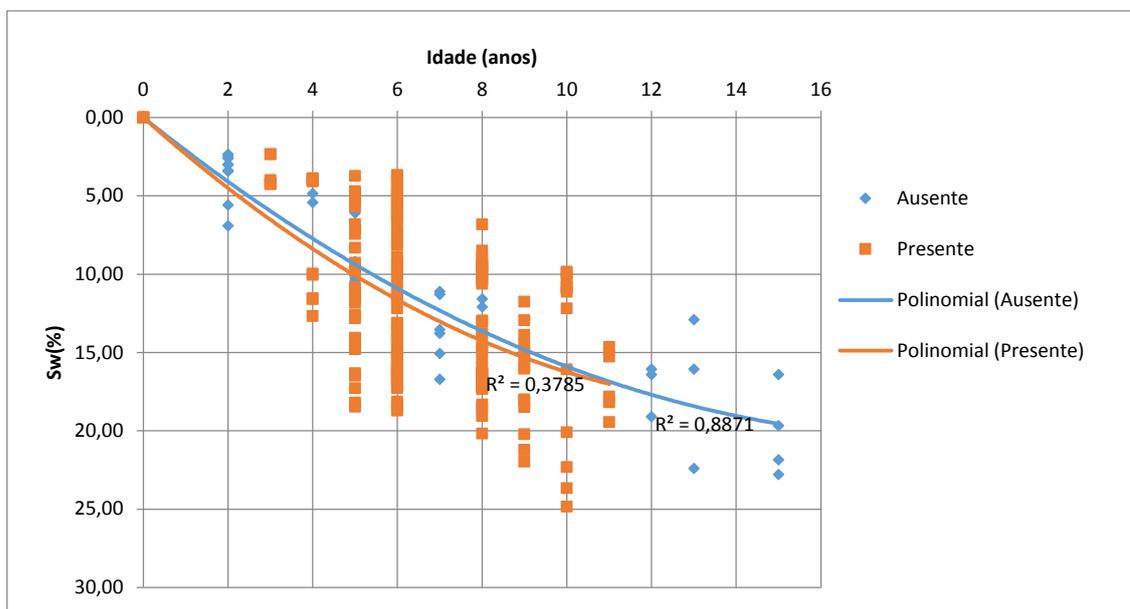
As curvas de degradação em função das fachadas apresentaram uma baixa correlação, não sendo possível distinguir os padrões de degradação. Quando se analisa as curvas dos edifícios, onde a variabilidade das fachadas de um mesmo edifício é eliminada, a correlação melhora consideravelmente. Nas curvas dos edifícios, os de textura rugosa apresentaram uma maior tendência à degradação que as lisas a partir de cinco anos de idade, contrariando os resultados obtidos por Chai (2011).

Isto, provavelmente, está relacionado à rugosidade da superfície que é a característica que intervém mais diretamente na deposição e adesão de sujidades ao suporte, favorecendo a ocorrência de manchas (PETRUCCI, 2000; POYASTRO, 2011).

6.3.1.4 Detalhes construtivos

As curvas de degradação das fachadas em função da presença ou ausência de detalhes construtivos, neste caso específico, da presença ou ausência frisos, estão apresentadas na Figura 50. Conforme discutido no item 5.3.1.5, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: presente (83%) e ausente (17%).

Figura 50 - Curvas de degradação das fachadas em função da presença de detalhes construtivos



Fonte: O Autor (2020)

Na análise das curvas não foi possível observar distinção clara entre os padrões de degradação. A curva das fachadas que possuíam frisos, embora representasse a maior parte das amostras (83%), apresentou uma baixa correlação (0,387). Enquanto a curva das fachadas

que não possuíam frisos, embora compo-se a menor parte das amostras (17%), apresentou uma boa correlação (0,887).

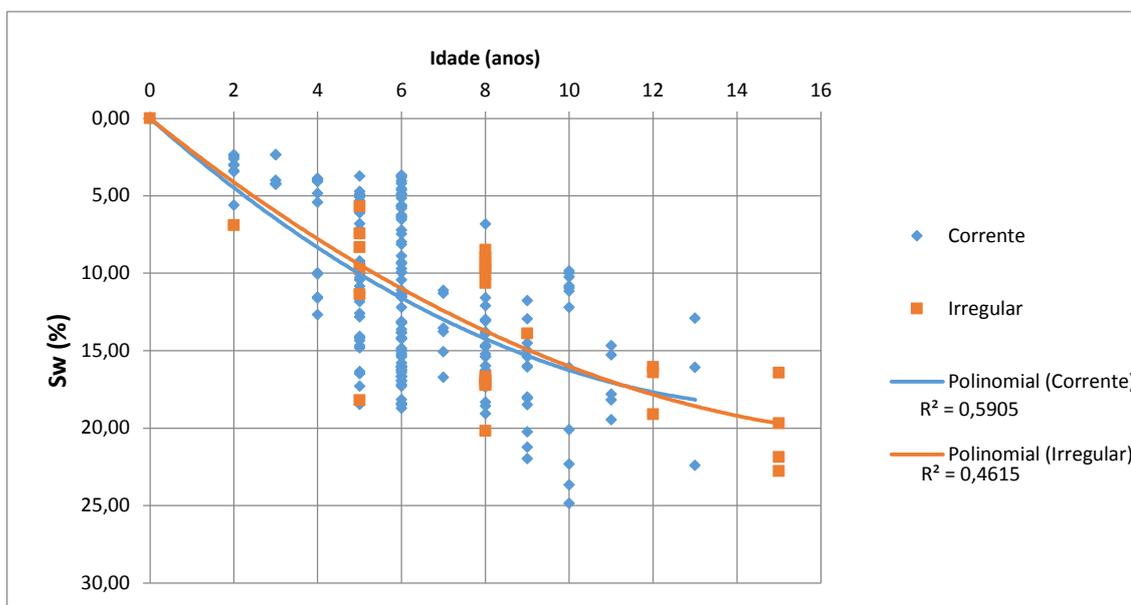
Apesar de inúmeros trabalhos discorrerem sobre a importância dos detalhes construtivos para o desempenho das fachadas, como Perez, 1988; Bonin, 1993; Petrucci, 2000; Breitbach, 2009; e Poyastro, 2011, provavelmente não foi possível observar uma distinção clara entre os casos com e sem detalhes construtivos, pois só foram analisados os frisos, quando existem vários detalhes construtivos como pingadeiras, peitoris, beirais, rebaixos e saliências.

Além disto, os frisos mesmo não tendo função igual das juntas, poderiam a vir minimizar a ocorrência de fissuras. No entanto, a principal manifestação patológica encontrada nas fachadas analisadas foram as manchas (90%), o que pode ter feito com que esta redução da quantidade de fissuras não ter sido percebida claramente.

6.3.1.5 Geometria das fachadas

As curvas de degradação das fachadas em função da geometria estão apresentadas na Figura 51. Conforme discutido no item 5.3.1.6, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: corrente (89%) e irregular (11%).

Figura 51 - Curvas de degradação das fachadas em função da geometria



Fonte: O Autor (2020)

Com relação à geometria das fachadas, não foi possível observar distinção clara entre os padrões de degradação, as curvas apresentaram correlações baixas e se cruzam próximo ao

ponto dos 11 anos. Um dos fatores que pode ter contribuído para isto foi a distribuição não homogênea das amostras com relação a este parâmetro (89/11).

Contrariando Ferreira e Brito (2007) que afirmam que, de um modo geral, um revestimento deve ter poucas reentrâncias e saliências de modo a permitir que a água das chuvas faça a lavagem das fachadas e não origine manchas de escorrimentos de poeiras e poluição.

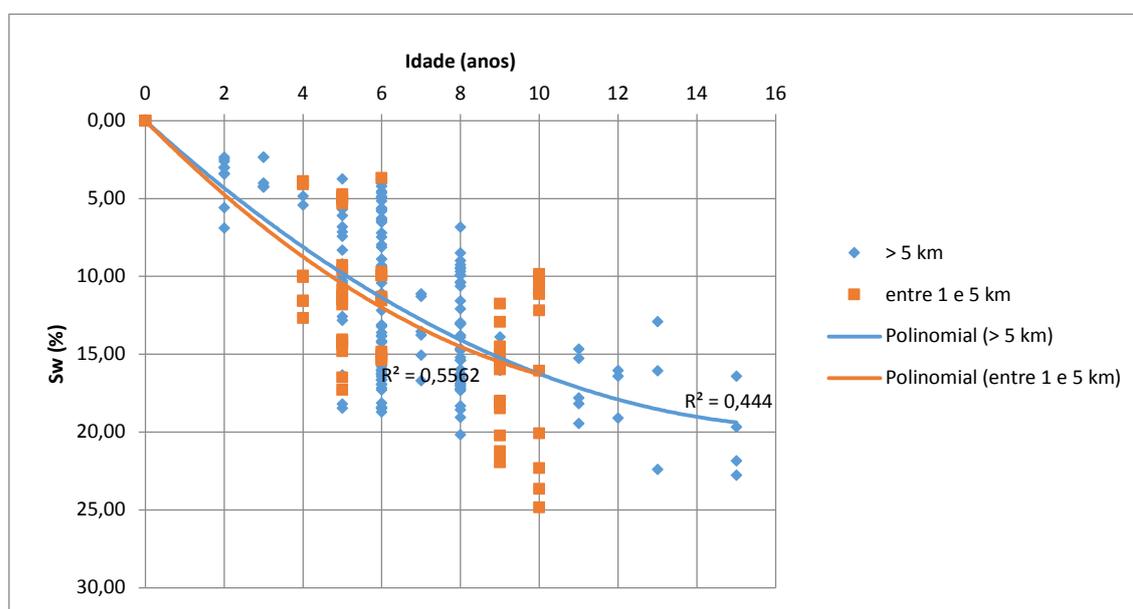
6.3.2 Fatores extrínsecos

Neste item serão analisadas as curvas de degradação em função dos fatores extrínsecos: a distância do mar, a proximidade de fontes poluentes e a influência da ação vento-chuva.

6.3.2.1 Distância do mar

As curvas de degradação das fachadas e dos edifícios analisados em função da distância do mar estão apresentadas na Figura 52 e 53, respectivamente. Conforme discutido no item 5.3.2.1, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: normal - > 5km (70%) e desfavorável – entre 1 e 5 km (30%), para as fachadas; e, normal (71%) e desfavorável (29%) para os edifícios.

Figura 52 - Curvas de degradação das fachadas em função da distância do mar

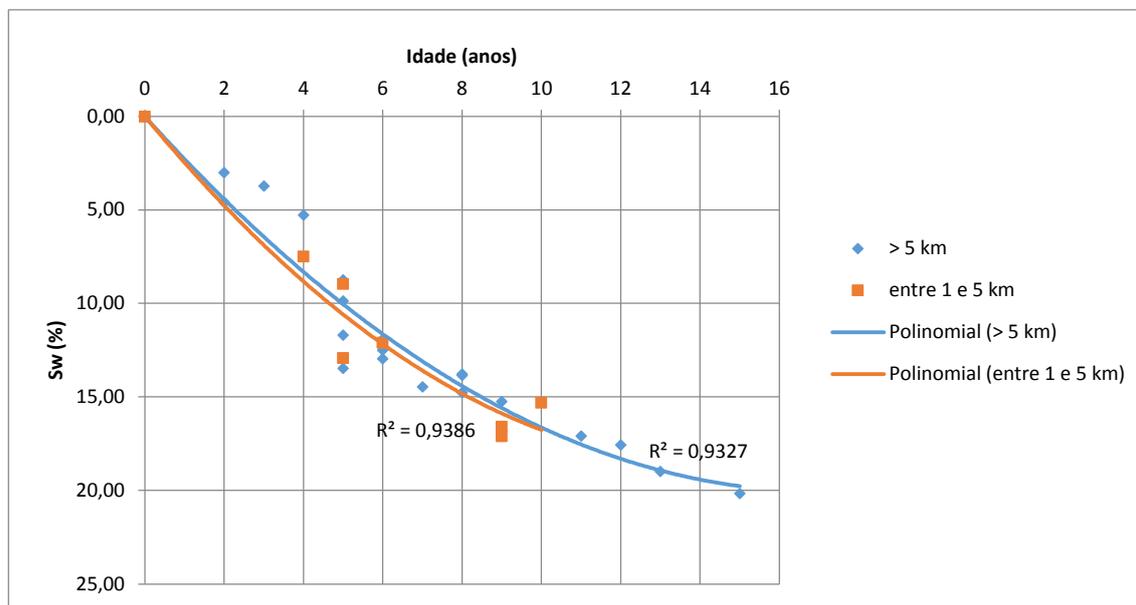


Fonte: O Autor (2020)

Nas curvas das fachadas e nas curvas dos edifícios percebe-se uma leve tendência das amostras situadas a mais de 5 km do mar apresentarem uma degradação menor que as situadas entre 1 e 5 km, embora as curvas se cruzem por volta dos 10 anos. As curvas dos edifícios

apresentaram fortes correlações, pois nesta análise é eliminada a variabilidade das amostras de um mesmo edifício.

Figura 53 - Curvas de degradação dos edifícios em função da distância do mar



Fonte: O Autor (2020)

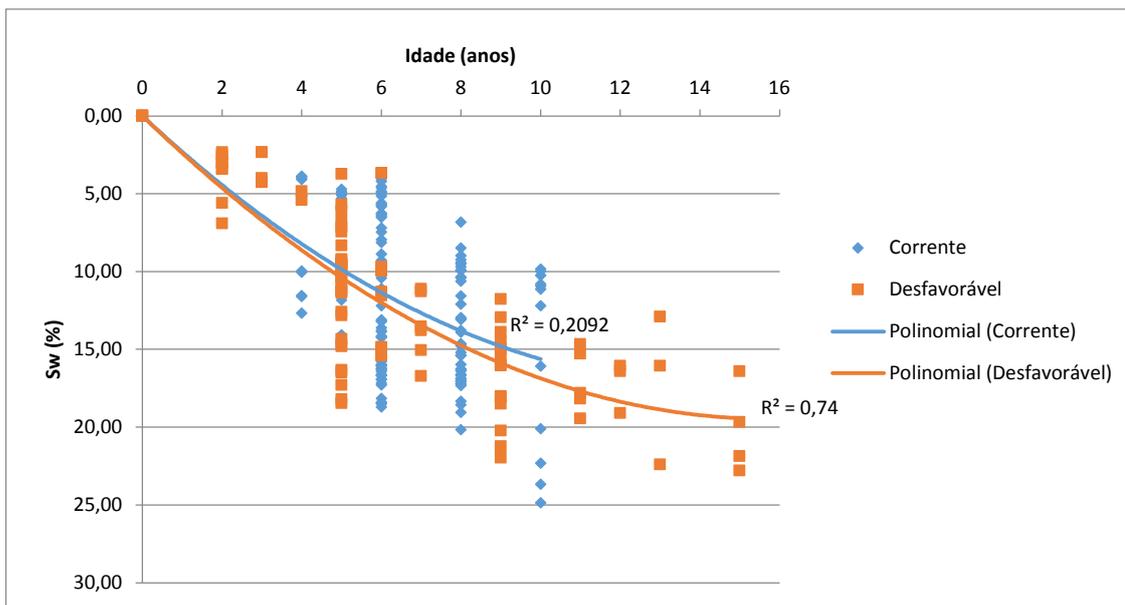
Este resultado está em acordo com o esperado e com os resultados de Chai (2011), pois quanto mais próximo a edificação está do mar, mais ela sofrerá a influência dos agentes de degradação relacionados ao mar: umidade e névoa salina.

O fato de não haver uma maior distinção entre as curvas pode estar relacionado às amostras, mas também pode estar relacionado com os limites utilizados (>5 km; entre 1 e 5 km; e <1 km), propostos por Ferreira (2004). Pois, a delimitação da zona costeira é por si só um conceito ambíguo, existindo várias definições para a mesma. Além disso, estes limites são influenciados por vários fatores como a topografia, a orientação dos ventos, a altura e envoltória da edificação (BOTO, 2014).

6.3.2.2 Proximidade de fontes poluentes

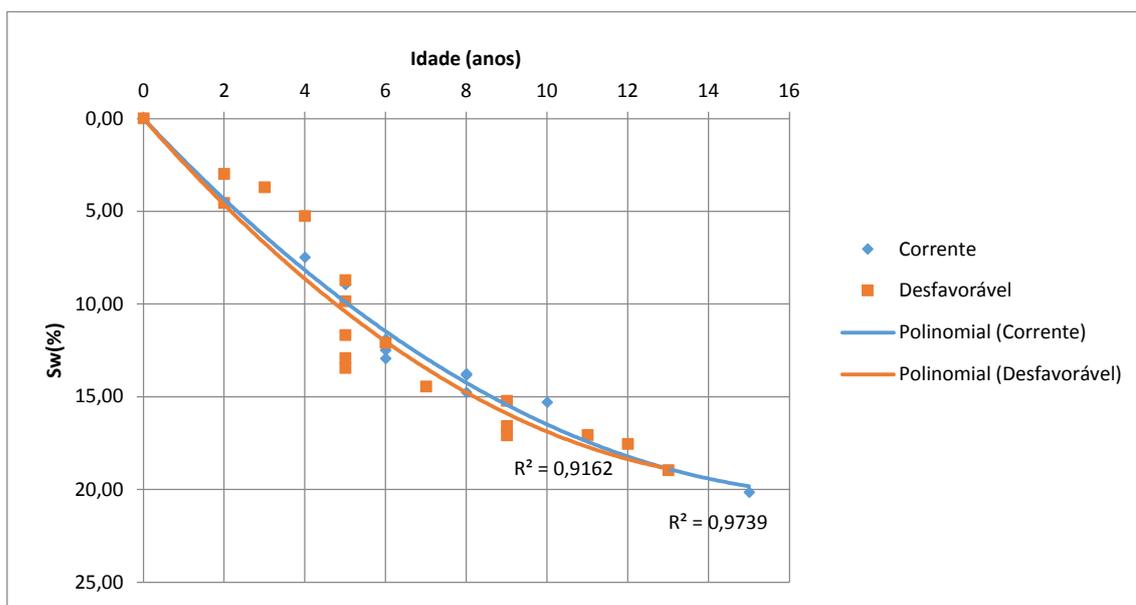
As curvas de degradação das fachadas e dos edifícios analisados em função da proximidade de fontes poluentes estão apresentadas na Figura 54 e 55, respectivamente. Conforme discutido no item 5.3.2.2, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: corrente (57%) e desfavorável (43%), para as fachadas; e, corrente (36%) e desfavorável (64%) para os edifícios.

Figura 54 - Curvas de degradação das fachadas em função da proximidade de fontes poluentes



Fonte: O Autor (2020)

Figura 55 - Curvas de degradação dos edifícios em função da proximidade de fontes poluentes



Fonte: O Autor (2020)

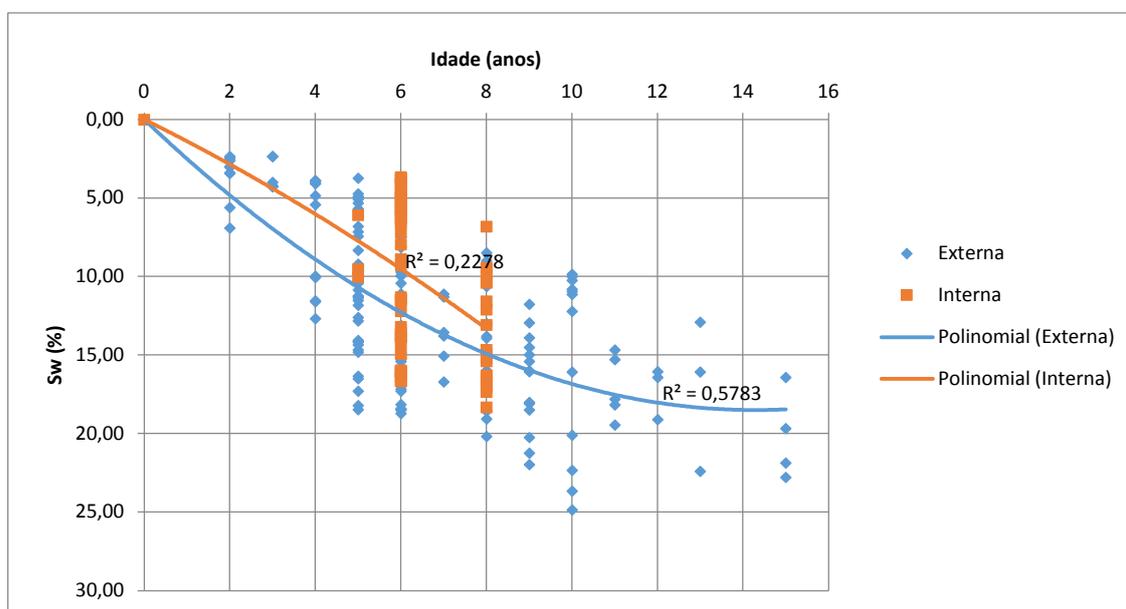
Nas curvas das fachadas, Figura 54, embora a amostra estivesse distribuída de forma homogênea, a curva das fachadas correntes apresentou uma baixa correlação ($R^2=0,21$). Nas curvas dos edifícios, embora apresentem fortes correlações, não é possível observar uma distinção clara entre os padrões de degradação. Contudo, em ambos os casos, percebe-se uma leve tendência das amostras de localização desfavorável apresentar, como esperado, uma susceptibilidade maior à degradação.

O fato de as curvas não apresentarem maior distinção entre as duas situações pode estar relacionado ao fato de todos os edifícios estarem localizados em ambiente urbano e às condições de contorno da edificação que influenciam a ação do vento, principal veículo de transporte das partículas.

6.3.2.3 Influência da ação vento-chuva

As curvas de degradação das fachadas em função da ação vento-chuva estão apresentadas na Figura 56. Conforme discutido no item 5.3.2.3, as amostras estavam distribuídas em 2 grupos: internas (25%) e externas (75%).

Figura 56 - Curvas de degradação das fachadas em função da influência da ação vento-chuva



Fonte: O Autor (2020)

As curvas deste parâmetro apresentaram baixa correlação, não sendo possível uma distinção clara entre os padrões de degradação, embora se perceba uma tendência das fachadas internas apresentarem uma menor degradação, pois estão mais protegidas da ação dos agentes climáticos. Um dos fatores que pode ter contribuído para isto foi a distribuição não homogênea das amostras (75/25).

Quando se analisa os valores do índice de degradação para as fachadas de um mesmo edifício, com as mesmas características (cor, textura, geometria, orientação cardinal, distância ao mar e proximidade de fontes poluentes), percebe-se que há uma diferença significativa entre estes valores. A Tabela 8 apresenta alguns exemplos desses casos.

Tabela 8 – Comparação da degradação entre fachadas internas e externas

Interna		Externa	
Fachada	Degradação (%)	Fachada	Degradação (%)
FE1O	4,99	FE2O	13,11
FE3O	4,53	FE4O	11,09
FF2N	4,20	FF1N	14,15
FF4N	3,80	FF3N	14,21

Fonte: O Autor (2020)

6.3.3 Considerações sobre a influência dos fatores extrínsecos e intrínsecos na degradação

A degradação das amostras analisadas aumentou com o aumento da idade, como se observou nas curvas de degradação. Estas apresentaram formato côncavo, característico de degradações provocadas pela ação de microorganismos que podem provocar manchas, condizente com a principal manifestação patológica observada nas fachadas. As curvas dos edifícios apresentaram correlações melhores que as das fachadas, pois a análise por edifício elimina a variabilidade das fachadas de uma mesma edificação, conforme se observa na Tabela 9.

Quando a análise da degradação foi realizada em função dos fatores intrínsecos (orientação, cor, textura, detalhes construtivos e geometria) e extrínsecos (distância do mar, proximidade de poluentes e ação vento-chuva), apenas na análise pela orientação cardinal foi possível distinguir claramente os padrões de degradação.

As fachadas apresentaram potencial de degradação crescente na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. Esta sequência está em acordo com as características climáticas da região analisada, conforme foi discutido no item 5.2.1., caracterização da região estudada.

As fachadas de orientação sul são sombreadas durante 9 dos 12 meses do ano, incluso neste período o inverno. Isto favorece a manutenção da umidade e o crescimento biológico, responsável pelo manchamento. Além disso, a direção predominante dos ventos na região é a sudeste, que além de favorecer o transporte de partículas, orienta a chuva dirigida. Esse mecanismo justifica o fato da fachada leste ser mais degradada que a oeste. As fachadas norte, ao contrário das sul, por receberem insolação a maior parte do ano, são menos susceptíveis ao crescimento biológico, apresentando menores valores de degradação.

Tabela 9 – Coeficiente de correlação (R^2) das curvas de degradação

Fator extrínseco ou intrínseco		Fachada	Edifício
Orientação	Norte	0,62	Não analisado
	Sul	0,77	Não analisado
	Leste	0,69	Não analisado
	Oeste	0,68	Não analisado
Cor	Branca	0,50	Não analisado
	Amarela	0,44	Não analisado
	Verde ou azul claro	0,44	Não analisado
	Verde ou azul escuro	0,73	Não analisado
Textura	Lisa	0,59	0,92
	Textura	0,36	0,99
Detalhes construtivos	Presente	0,38	Não analisado
	Ausente	0,89	Não analisado
Geometria	Corrente	0,59	Não analisado
	Irregular	0,46	Não analisado
Distância do mar	> 5 km	0,44	0,93
	entre 1 e 5 km	0,56	0,94
Proximidade de poluentes	Corrente	0,21	0,97
	Desfavorável	0,74	0,92
Influência ação vento-chuva	Interna	0,23	Não analisado
	Externa	0,58	Não analisado

Fonte: O Autor (2020)

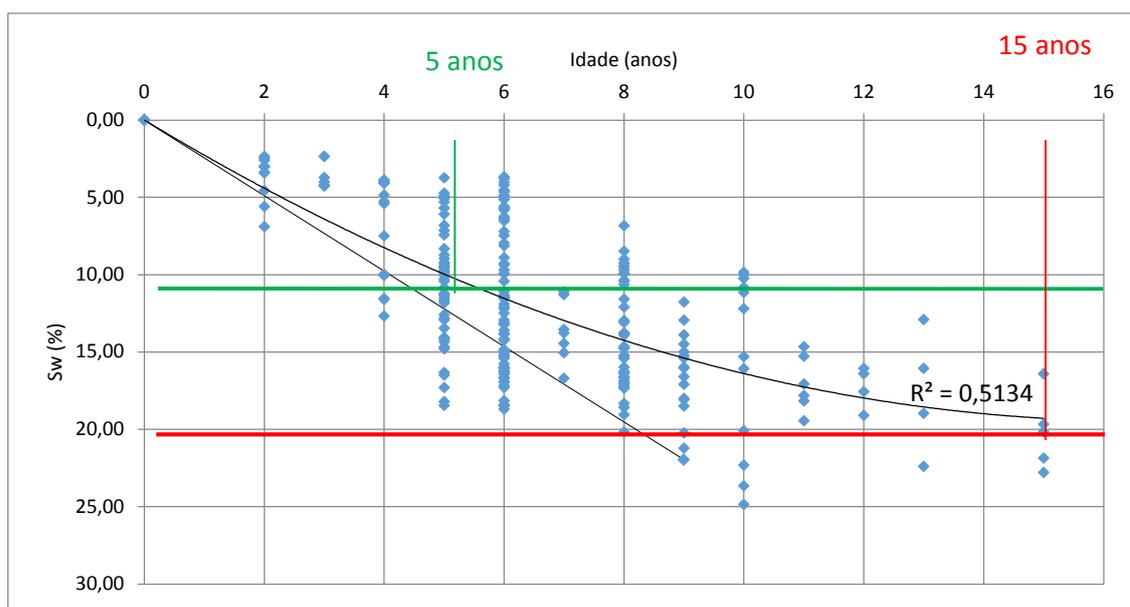
Nos demais parâmetros, as curvas apresentaram resultados inconclusivos. Em alguns parâmetros as curvas apresentaram baixos índices de correlação, conforme se observa na Tabela 9. Mesmo nos fatores que apresentaram boas correlações, com exceção da orientação cardinal, as curvas se sobrepuseram ou se cruzaram em alguns pontos.

Isto não quer dizer que estes parâmetros não influenciem a degradação, mas que para este universo amostral e com a aplicação desta metodologia, estes fatores não mostraram diferenças significativas. Um dos fatores que pode ter contribuído para isto, foi a distribuição não homogênea das amostras em alguns parâmetros. A inclusão de novas amostras neste universo poderá melhorar as correlações, possibilitando distinguir os padrões de degradação.

6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIDA ÚTIL DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

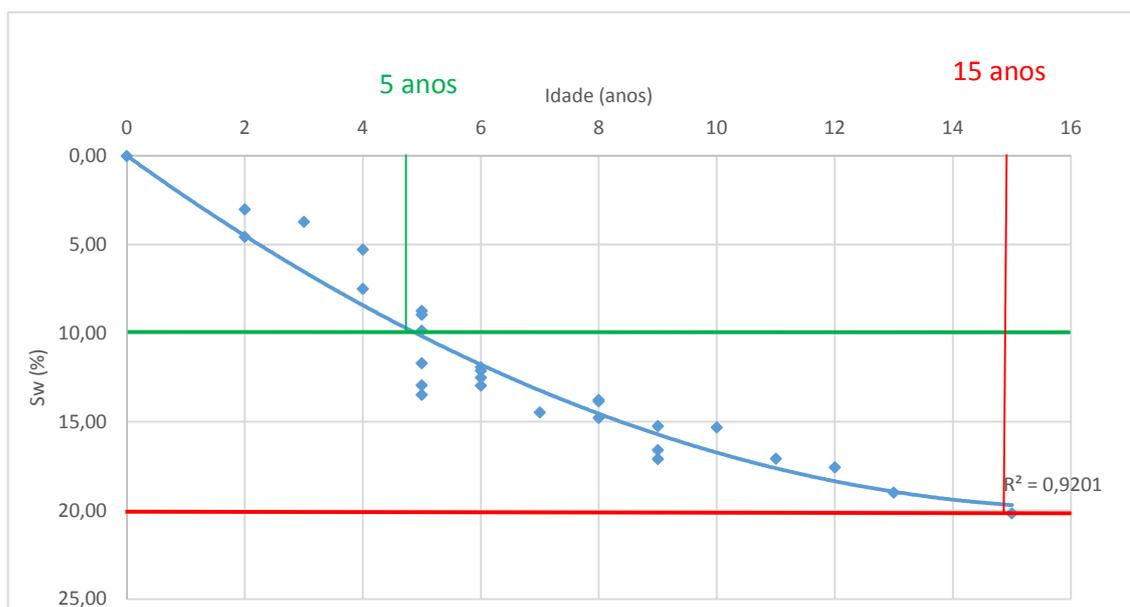
As curvas de degradação com regressão polinomial das 236 fachadas e dos 28 edifícios analisados estão apresentadas nas Figuras 57 e 58, respectivamente. Adotou-se o fim da vida útil quando o índice de degradação atinge o valor de 20% conforme proposto por Chai (2011). Dessa forma, a vida útil do sistema atinge seu fim aos 15 anos, seja analisando a curva de degradação das fachadas, seja analisando a curva de degradação dos edifícios.

Figura 57 – Curvas de degradação (regressão polinomial) das 236 fachadas analisadas



Fonte: O Autor (2020)

Figura 58 – Curvas de degradação (regressão polinomial) dos 28 edifícios analisados



Fonte: O Autor (2020)

Na análise visual das fachadas com índice de degradação maior que 20%, Fotos 16 e 17, percebe-se que as manifestações patológicas se encontram avançadas, atingindo grandes áreas das fachadas, sendo necessárias ações de manutenção para restabelecer os níveis de desempenho do sistema.

Verifica-se nas fotos que as sujidades estão acentuadas, principalmente no topo da fachada e abaixo das aberturas, resultantes do escoamento da lâmina de água sobre a fachada. Na fachada da Foto 16, embora não existam grandes áreas com manchas, existem descolamentos da pintura e fissuras da argamassa em várias regiões.

Na fachada da Foto 17, onde existe a presença de peitoris sob as aberturas das janelas, percebe-se que, abaixo deles, a degradação é bem menor que nas demais regiões da fachada, evidenciando a importância do uso de detalhes construtivos.

Foto 16 – Exemplo de fachada com $S_w > 20\%$ (fachada FL1L, com $S_w = 22,40\%$)



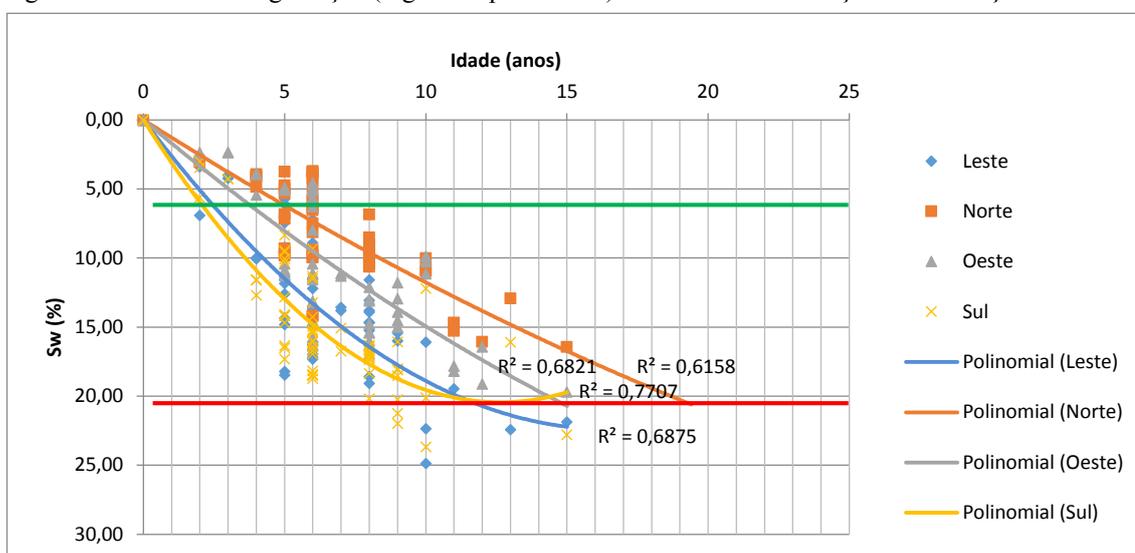
Fonte: O Autor (2019)

Foto 17 – Exemplo de fachada com $S_w > 20\%$ (fachada FC3S, com $S_w = 20,17\%$)

Fonte: O Autor (2019)

As curvas de degradação em função da orientação cardinal das fachadas, o único dos parâmetros analisados que mostrou uma distinção clara entres os padrões de degradação, está apresentada na Figura 59. Considerando o fim da vida útil quando o índice de degradação atinge 20 %, o fim da vida útil ocorre: por volta dos 10 anos para a orientação sul, por volta dos 11 para a leste, por volta dos 14 para oeste e por volta dos 19 para a orientação norte.

Figura 59 - Curvas de degradação (regressão polinomial) das fachadas em função da orientação cardinal



Fonte: O Autor (2020)

Contudo, de acordo com Gaspar (2017), o fim da vida útil é determinado por decisões humanas que definirão o limite de aceitação em qualquer modelo de vida útil, baseados em vários aspectos como estética, funcionalidade, desempenho, custo, risco e desconforto associado ao processo de restauração.

Com base nas amostras estudadas, observa-se que quando o índice de degradação atinge o valor de 10%, as fachadas embora não tenham atingido o fim de sua vida útil do ponto de vista funcional e da durabilidade, atingiram o fim da vida útil estética. Isto porque, nesse período as manifestações patológicas começam a se tornar mais visíveis afetando o conforto visual dos usuários, conforme se pode notar nas Fotos 18 e 19.

Foto 18 – Exemplo de fachada com $S_w > 10\%$ (fachada FD2N, com $S_w = 10,62\%$)



Fonte: O Autor (2019)

Seria interessante que as ações de manutenção se iniciassem nesta fase, pois teriam um custo bem menor que intervenções em estágios mais avançados de degradação, considerando que os custos de manutenção aumentam de forma exponencial ao longo do tempo, conforme a Lei de Sitter ou Lei dos Cinco (SITTER, 1984).

Analisando a curva de degradação das fachadas e dos edifícios, Figuras 57 e 58, verifica-se que o fim da vida útil estética ocorre por volta dos 5 anos. Analisando as curvas em função da orientação cardeal, Figura 59, o fim da vida útil estética ocorre: entre 3 e 4 anos para a

orientação sul, por volta dos 4 anos para a leste, por volta dos 6 para oeste e por volta dos 8 para a orientação norte.

Foto 19 – Exemplo de fachada com $S_w > 10\%$ (fachada FF4O, com $S_w = 10,42\%$)



Fonte: O Autor (2019)

Estes níveis de degradação estão em concordância com os níveis propostos por Chai (2011), expressos no Quadro 9. O nível 2 representa o fim da vida útil estética e o nível 3 representa o fim da vida útil física.

Quadro 9 – Níveis de degradação propostos por Chai (2011)

Níveis de degradação	Condição mais favorável →			← Condição menos favorável	
	0: $S_{w,p} < 1\%$	1: $1 \leq S_{w,p} < 10\%$	2: $10 \leq S_{w,p} < 20\%$	3: $20 \leq S_{w,p} < 40\%$, representando o limite da vida útil	4: $S_{w,p} \geq 40\%$

Fonte: Chai (2011)

Definidos estes intervalos, dividiu-se as amostras das 236 fachadas em cada um destes níveis em função do valor do índice de degradação para analisar a distribuição das manifestações patológicas em cada intervalo. Analisou-se esta distribuição em função das áreas degradadas de cada manifestação patológica em relação à área degradada total. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Distribuição das manifestações patológicas em função dos níveis de degradação

Nível de degradação	Distribuição das manifestações patológicas (%)									
	Manchas (Nível)				Fissuras (Nível)			Descolamento (Nível)		
	1	2	3	4	2	3	4	2	3	4
$S_w \leq 10\%$	56,96	28,48	6,81	2,59	0,05	4,49	0,09	0,30	0,23	0,00
$10\% < S_w \leq 20\%$	3,57	29,61	32,42	23,43	0,08	8,94	0,28	0,17	1,50	0,46
$S_w > 20\%$	0,00	19,13	46,45	34,42	0,00	15,01	0,16	0,08	9,55	2,58
Total	20,1	29,2	24,4	16,9	0,1	7,5	0,2	0,2	1,1	0,3

Fonte: O Autor (2020)

Nas amostras com $S_w \leq 10\%$, as manchas concentram-se (56,96%) no nível 1, representado por leves alterações cromáticas e leves marcas de drenagem, seguidas pelas manchas de nível 2 (28,48%). As manchas de nível 3 e 4, juntas representam menos de 10% da área degradada. As fissuras no nível 3 representam 4,49% das manifestações patológicas e as demais patologias estão todas abaixo de 0,3%.

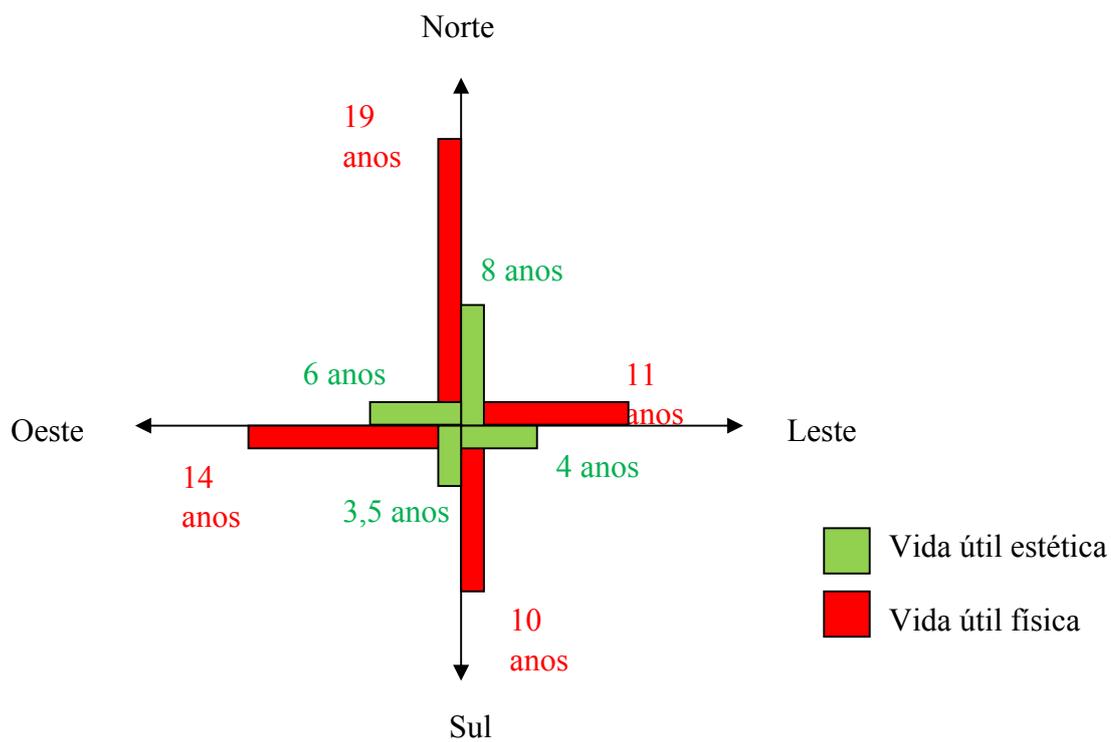
Nas amostras com $10\% < S_w \leq 20\%$, as manchas estão situadas em níveis de degradação maiores, distribuindo-se principalmente nos níveis 2, 3 e 4. As fissuras no nível 3 quase que dobram em relação à anterior, atingindo 8,94%. Descolamentos no nível 3 já começam a aparecer numa quantidade maior 1,5% enquanto as demais manifestações patológicas estão todas abaixo de 0,5%.

Quando as amostras ultrapassam o S_w de 20%, as manchas concentram-se nos níveis 3 e 4, não sendo contabilizada nenhuma no nível 1. As fissuras quase que dobram em relação ao nível anterior, atingindo o valor de 15,01%. Os descimentos nível 3 crescem mais de cinco vezes em relação ao nível anterior, atingindo 9,55%. Os de nível 4, atingem 2,58 %, quase cinco vezes a percentagem do nível anterior.

Percebe-se, portanto, que a distribuição das manifestações patológicas está em concordância com os níveis de degradação estabelecidos, com a quantidade e intensidade das manifestações patológicas aumentando ao longo do tempo, devido à ação dos agentes de degradação.

A Figura 60, intitulada de “A cruz da vida útil”, apresenta um resumo das conclusões obtidas sobre a estimativa de vida útil em função da orientação cardinal das fachadas e com base nos resultados obtidos neste trabalho.

Figura 60 – “A cruz da vida útil”: vidas úteis em função da orientação cardeal



Fonte: O Autor (2020)

7 CONCLUSÕES

O presente estudo se propôs a analisar o fenômeno da degradação de fachadas na cidade do Recife. O sistema de revestimento escolhido para a análise foram as fachadas em argamassa com acabamento em pintura de edifícios residenciais de até 4 pavimentos.

Após uma análise da literatura existente sobre o tema, adotou-se como metodologia o estudo através de curvas de degradação, relacionando a degradação, expressa em um índice numérico, ao tempo em função de uma série de parâmetros. A quantificação da degradação adotada baseou-se na metodologia desenvolvida por Gaspar (2009) e mostrou-se apta a mensurar a degradação.

A partir da análise dos resultados obtidos para as 236 fachadas estudadas de 28 edifícios localizados na cidade de Recife, pode-se concluir:

Com relação à caracterização da região estudada:

A cidade do Recife possui características climáticas favoráveis à degradação dos revestimentos: clima sempre úmido (umidade sempre maior que 70%) e quente. De acordo com a classificação proposta por Lacy para chuva dirigida, está em um nível de exposição severa para chuva dirigida. Além disto, o fato de ser uma cidade urbana (grande quantidade de emissões de gases poluentes) e litorânea (névoa salina) também contribui para a degradação dos sistemas de revestimento.

Na maior parte do ano (9 dos 12 meses), as fachadas de orientação sul não recebem incidência solar direta. Além disto, durante esta época, ocorre o período chuvoso (maio, junho e julho) e a orientação cardinal predominante dos ventos e conseqüentemente da chuva dirigida é sudeste. Isto dificulta a secagem da água, favorecendo a presença de umidade nas fachadas voltadas para o sul.

Com relação à ocorrência manifestações patológicas:

Observou-se o predomínio (90%) das manchas nas amostras estudadas. Neste grupo de manifestações patológicas estão inclusos: alterações de cor, sujidades, eflorescências e crescimento biológico. Depois das manchas, numa ocorrência bem menor, 8 e 2 %, respectivamente, seguiram as fissuras (da pintura e da argamassa) e os descolamentos (da pintura e da argamassa).

Com relação às curvas de degradação:

As curvas de degradação das fachadas obtidas através de regressão linear e polinomial apresentaram valores de R^2 moderados (R^2 de 0.44 e 0.51, respectivamente), sendo que a curva polinomial foi a que melhor correspondeu ao padrão de degradação da amostra estudada, com a degradação aumentando ao longo do tempo.

As curvas de degradação dos edifícios apresentam o mesmo comportamento das curvas de degradação das fachadas, só que com valores de correlação bem melhores: R^2 de 0,92 para regressão polinomial e R^2 de 0,79 para regressão linear. Essa menor dispersão deve-se ao fato que na análise por edifícios é eliminada a variabilidade da degradação das fachadas de um mesmo edifício.

Com relação à configuração obtida para a curva polinomial, esta revelou um desenvolvimento côncavo, expressando uma tendência dos revestimentos de se degradarem aceleradamente nas idades iniciais e, com o decorrer do tempo, esta degradação se torna menos acelerada. Este comportamento é característico de degradações provocadas pela ação de microorganismos que podem provocar manchas, condizendo com a principal manifestação patológica observada nas fachadas analisadas.

Com relação à influência dos fatores intrínsecos e extrínsecos na degradação:

Na análise da degradação em função dos fatores intrínsecos (orientação cardeal das fachadas, cor do revestimento, textura do revestimento, presença ou ausência de detalhes construtivos e geometria das fachadas) e extrínsecos (distância do mar, proximidade de poluentes e ação vento-chuva), apenas no fator orientação cardeal foi possível distinguir claramente os padrões de degradação.

As fachadas apresentaram potencial de degradação decrescente na seguinte ordem: sul, leste, oeste e norte. Esta sequência está em acordo com as características climáticas da região analisada. As fachadas de orientação sul são sombreadas durante 9 dos 12 meses do ano, inclusive neste período o inverno. Isto favorece a manutenção da umidade e o crescimento biológico, responsável pelo manchamento. Além disto, a direção predominante dos ventos na região é a sudeste, que além de favorecer o transporte de partículas, orienta a chuva dirigida. Este mecanismo justifica o fato da fachada leste ser mais degradada que a oeste. As fachadas norte, ao contrário das sul, por receberem insolação a maior parte do ano, são menos susceptíveis ao crescimento biológico, apresentando menores valores de degradação.

Nos demais parâmetros, as curvas apresentaram resultados inconclusivos seja pelas baixas correlações obtidas, seja pela sobreposição das curvas. Isto não quer dizer que estes parâmetros não influenciem a degradação, mas que para este universo amostral e com a aplicação desta metodologia, estes fatores não mostraram diferenças significativas. A inclusão de novas amostras neste universo poderá melhorar as correlações, possibilitando distinguir os padrões de degradação.

Com relação à estimativa de vida útil:

Adotando o fim da vida útil física quando o índice de degradação atinge o valor de 20% quando as manifestações patológicas se encontram avançadas, atingindo grandes áreas das fachadas, sendo necessárias ações de manutenção para restabelecer os níveis de desempenho do sistema, a vida útil das manutenções prediais analisadas está situada entre 11 e 12 anos.

Analisando as curvas em função da orientação cardinal, o fim da vida útil ocorre: por volta dos 10 anos para a orientação sul, por volta dos 11 para a leste, por volta dos 14 para oeste e por volta dos 19 para a orientação norte.

Adotou-se o fim da vida útil estética quando o índice de degradação atinge o valor de 10%, quando as fachadas embora não tenham atingido o fim de sua vida útil do ponto de vista funcional e da durabilidade, atingiram o fim da vida útil estética. Pois, nesse período, as manifestações patológicas começam a se tornar mais visíveis afetando o conforto visual dos usuários.

Seria interessante que as ações de manutenção se iniciassem nesta fase, pois teriam um custo bem menor que intervenções em estágios mais avançados de degradação, considerando que os custos de manutenção aumentam de forma exponencial ao longo do tempo, conforme a Lei de Sitter ou Lei dos Cinco.

Analisando a curva de degradação das fachadas e dos edifícios, verificou-se que o fim da vida útil estética ocorre por volta dos 5 anos. Analisando as curvas em função da orientação cardinal, o fim da vida útil estética ocorre: entre 3 e 4 anos para a orientação sul, por volta dos 4 anos para a leste, por volta dos 6 para oeste e por volta dos 8 para a orientação norte.

Espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para a melhor compreensão da degradação das fachadas, podendo auxiliar nas decisões do meio técnico, de profissionais e

projetistas, nas fases de projeto, especificação de materiais e ações de manutenção almejando soluções para atendimento aos requisitos de durabilidade e vida útil das edificações.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aplicar a metodologia utilizada de modo a ampliar as amostras, diversificando a tipologia e idade dos edifícios e ampliar o universo de estudo, como edifícios altos, edifícios próximos ao mar, edifícios com paredes em concreto armado e edifícios históricos;
- Analisar outros sistemas de revestimento na cidade do Recife, como o cerâmico, o pétreo e o de porcelanato;
- Realizar inspeções mais detalhadas com auxílio de softwares e equipamentos como VANT's (veículo aéreo não tripulado) e câmeras termográficas, de modo a identificar patologias não detectadas na inspeção visual, e comparar as duas metodologias para um mesmo universo amostral;
- Realizar a análise por regiões nas edificações estudadas;
- Implementar uma análise estatística para a avaliação de vida útil.

REFERÊNCIAS

AIJ - Architectural Institute of Japan. **The english edition of principal guide for service life planning of buildings, commented edition**. AIJ, Tokyo, Japan, 1993. 98 p.

ALLAHVERDI, A; KANI, E. N; HOSSAIN, K. M. A; LACHEMI, M. Methods to control efflorescence in alkali-activated cement-based materials. In **Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes**, p. 463-483, 2015.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.

_____. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2017. 57 p.

_____. **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 5674**: Norma de Manutenção Predial. Rio de Janeiro, 2012.

BAÍÁ, L. L. R. SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de Revestimento de Argamassa**, 4 ed, 2000, 13p.

BALARAS, C. A.; DROUTSA, K.; DASCALAKI, E.; KONTOYIANNIDIS, S. Deterioration of European apartment buildings. **Energy and Buildings**, 37(5), 2005, p. 515–27.

BARBEROUSSE, H.; RUOT, B.; YÉPREMIAN, C.; BOULON, G. An assessment of façade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. **Building and Environment**, 42 (7), 2007, p. 2555-2561.

BARBOSA, A. S. **Estudo Numérico-Computacional e Analítico do Choque Térmico em Fachadas de Edificações**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-11A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2013. 275 p.

BARROS, M. M. S. B. de.; SABBATINI, F. H. **Produção de revestimento cerâmico para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. São Paulo: EPUSP, 2001.

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

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B.; ZANONI, V. A. G. Evaluation of damage of building facades in Brasília, In: **Proceedings of the 13th DBMC International Conference on Durability of Buildings Materials and Components**, São Paulo, Brasil, p. 535–542, 2014.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. **Cerâmica**, 61: 151-159, 2015.

BAUER, E.; FREITAS, V. P.; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, S. S. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structure Survey**, 31 (3), 2015 , p. 181–193.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; PEREIRA, H. F.; NASCIMENTO, M. L. M. Criteria for identification of ceramic detachments in building facades with infrared thermography. **Recent Dev. Building Diagnostic Technology**, 5 ,2016, p. 51–68.

BAUER, F. **Materiais de construção**. 6 ed. LTC, 2019.

BÍBLIA, A. T. Salmos. In BÍBLIA. Português. **Sagrada Bíblia Católica: Antigo e Novo Testamentos**. Tradução de José Simão. São Paulo: Sociedade Bíblica de Aparecida, 2008.

BONINI, R. K. Centro de Controle de Zoonoses da Prefeitura de São Paulo - SP "**O Biológico**", vol. 60, nº 2 - XI RAIB 2013.

BOTO, M. G. **Plano de manutenção de fachadas em edifícios na zona costeira**. Dissertação de mestrado. Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2014.

BOWER, B. Simple minds, smart choices. **Science News**, 155(22), 1999, p. 348-350.

BREITBACH, A. M. **Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

BRIFFET, C. The Performance of external wall systems in tropical climates. **Energy Buildings**, 16: 917–924, 1991.

CAMPANTE, E. F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 407p

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In: V CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIAS DE LAS CONSTRUCCIONES. Montevideu, 1999. **Anais...** Montevideu, 1999.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 1º Ed, 2007. 870p.

CARNEIRO, A. M. P. **Estudo de argamassas de cimento, cal e areia - Sistemática das Empresas de Construção Civil de Porto Alegre**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

CARVALHO, I. C. **Patologias em fachadas: análises de casos na Universidade Federal do Pará**. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, Pará, 2014. 130 p.

CASTRO, A; LABIKI C., CARAM L.; BASSO A.; FERNANDES M., Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Revista da ANTAC**, Porto Alegre, v.3, n.2, p.69-76, 2003.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuições ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió (AL), 2006. 141p.

CECCONI, F.R. **Engineering method for service life planning: the evolved factor method**. CIB World Building Congress, Toronto, Canada, 2004.

CERQUEIRA, M. B. dos S. **Avaliação da Degradação de Fachadas - Estudo de Caso em Salvador-BA**. Dissertação. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Salvador, Bahia, 2018. 198 p.

CHADYSIENE, R.; GIRGZDYS, A. Ultraviolet radiation albedo on natural surfaces. **Journal of environmental engineering and landscape management**. Lituania, v.16, n.2, 2008. p.83-88.

CHAI, C. V. V. C. **Previsão de vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores**. Dissertação para Obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2011.

CHAI, C.; BRITO, J.; GASPAR, P.L.; SILVA, A. Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies. **Journal of Construction Engineering and Management** 140(3), 2014.

CHAVES, A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Guimarães, Universidade do Minho, 2009.

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.

DANIOTTI, B.; SPANGOLO, S. **Service life prediction tools for buildings' design and management**. 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turquia, 2008.

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

ESTRELA, P. H. T.; LIMA, M. G. **Índice de exposição à chuva dirigida para são José dos campos – sp com base em um ano de dados**. In: XV Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do Instituto de Tecnologia da Aeronáutica, 2009, São José dos Campos. **Anais...** São Paulo: XV ENCITA, 2009.

FERREIRA, T. **Arquitetura e Durabilidade - Prevenção de anomalias na faixa costeira**. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2004. 244 p.

FERREIRA, T. BRITO, J. **Concepção Arquitectónica na Faixa Costeira. Medidas Preventivas em Revestimentos Cimentícios de Paredes**. In: 1st International Conference on Construction Heritage in Coastal and Marine Environments, Lisboa, Portugal, 2007.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimento: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

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

FLORES-COLEN, I. S.; BRITO, J.; FREITAS, V. P. Stains in facades' rendering – diagnosis and maintenance techniques' classification. **Construction and Building Materials**, 22 (3), 2008, p.211–221.

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

FLORES-COLEN, I. S.; BRITO, J. A.; FREITAS, V. P. Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building façades: survey of 30 experts. **Journal of Performance of Constructed Facilities**. v. 24 (4), p. 337–344, 2010.

FREITAS, A. S. S. L. A. **Avaliação do comportamento higrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à ação da chuva incidente**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

GAKLIK, E. S. **Jardim Histórico do Palacete Dr. Astrogildo de Azevedo: mapeamento de manifestações patológicas e métodos de limpeza**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GAYLARDE, C. C.; MORTON, L. H. G.; LOH, K.; SHIRAKAWA, M. A. Biodeterioration of external architectural paint films – A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 65 (8), 2011. p.1189-1198.

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

GALVÃO, J.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; VEIGA, M. R. Variability of in-situ testing on rendered walls in natural ageing conditions – Rebound hammer and ultrasound techniques. **Construction and Building Materials**, 170, 2018. p. 167–181

GARCEZ, N.; LOPEZ, N.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. System of inspection, diagnosis and repair of external claddings of pitched roofs. **Construction and Building Materials**, 35, 2012, p. 1034–1044.

GARRIDO, M. A.; PAULO, P. V.; BRANCO, V. A. Service life prediction of façade paint coatings in old buildings. **Construction and Building Materials**, 29, 2012. p. 394–402.

GASPAR, P. **Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes**. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2002. 203 p.

_____. **Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes**. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

_____. End of the service life of ceramic cladding: lessons from the girasol building in madrid. **Journal Performance Construction Facilites**, 31(2), 2017.

GASPAR, P; BRITO, J. O ciclo de vida das construções - vida útil econômica. **Arquitectura e Vida**, 45, 2004, p. 70-75.

_____. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v.19(8), p. 571–8, 2005.

_____. Service life estimation of cement-rendered facades. **Building Research & Information**, v. 36, n. 1, p. 44-55, 2008.

_____. Limit states and service life of cement renders on facades. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 10, 2011, pp. 1396-1404.

GOLDBERG, R. P. The effects and control of moisture in ceramic tile facades. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO, 4., 1994, Castellón, **Anais...** Castellón: QUALICER, 1994.

HAAPIO, A; VIITANIEMI, P. Workmanship in service life planning agents affecting the service life. In: **Proceedings of the 11th DBMC International Conference on Durability of Buildings Materials and Components**, Istanbul, Turquia, 2008, T45.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HOVDE, P. J. 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, 2004, 1–51.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Gráficos Climatológicos**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 28 de novembro de 2018.

KIRKHAM, R. J.; BOUSSABAIN, H. Forecasting the residual service life of NHS hospital buildings: a stochastic approach. **Construction Management and Economics**, 23(5), 2005, p.521–9.

LERSCH, I. M. **Contribuição para identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação de edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação**. Boletim Técnico: BT/PCC/06. São Paulo, EPUSP, 1985. 29p.

LIMA, M. G.; MORELLI, F. Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, V. 7 a 10 jun. 2003, São Paulo. **Anais**. São Paulo: EPUSP, 2003.

LIMA, M. G.; MORELLI, F. LENCIONI, J. W. Discussão sobre os parâmetros ambientais de degradação do ambiente construído – estudos relativos a materiais e revestimentos para fachadas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. **Anais...** Florianópolis, 2003.

LOPES, C. V. **Efeito do intemperismo em argamassas de rejuntamento**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. 216p.

LOUNIS, Z.; MIRZA M. S. Reliability-based service life prediction of deteriorating concrete structures, **3rd International Conference on Concrete Under Severe Conditions**, vol 1. Vancouver, 2001, p.965–972.

LOURENÇO, P. B; KRAKOWIAK, K. J.; FERNANDES, F. M., RAMOS, L. F. Failure analysis of Monastery of Jerónimos, Lisbon: how to learn from sophisticated numerical models. **Engineering Failure Analysis**, 14 (2), 2007, p. 280-300.

LUZ, M. A. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada em três estudos de caso na cidade de Balneário Camboriú**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. 172p.

MARTEINSSON B. Durability and the factor method of ISO15686-1. **Building Research and Information**, 31(6), 2003, p.416–26.

MATOS, M. J. **Durabilidade como critério de Projecto: O Método Factorial no contexto português**. Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2007. 96 p.

MATOS, V. C. M.; LIMA, M. G. Manual para avaliação de fachadas – importância da avaliação dos fatores ambientais de degradação. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: XI ENTAC, 2006.

MARTIN, F. **Contribuição para a perícia de engenharia na identificação de patologias em revestimento cerâmico de fachadas**. Dissertação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2013. 169p.

MARTINS, A. M. M. **Estudo da Influência da Dosagem de Cimento no Desempenho de Argamassas de Reboco**. 2008. Dissertação - Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa-Portugal, 2008. 165p.

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.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. Pini, 2014.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. 234 p.

MOUSAVI, S. H; SILVA, A.; BRITO, J.; EKHLASSI, A.; HOSSEINI, S. B. Service life prediction of natural stone claddings with an indirect fastening system. **Journal Performance Construction Facilites**, 31(4), 2017.

MÜLLER, Siomara Ribeiro. **Histórico do campus e as patologias das fachadas dos prédios voltados para Avenida Roraima – UFSM**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. 120 p.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 173p.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da Conservação e da Restauração - materiais e estruturas: um roteiro de estudos**. Salvador, EDUFBA, ABRACOR, 2002.

OLIVEIRA, G. B. A. **Estudo de caso de patologias em revestimento cerâmico em fachada de um edifício em Brasília-DF**. Monografia. Centro Universitário de Brasília. Brasília: UNICEB, 2013.

OLIVEIRA, N. N. C. **A importância da adoção de medidas preventivas (Projeto/Execução) na redução da ocorrência de manifestações patológicas em sistemas de revestimento**. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014. 147 p.

PACHECO, C. P. **Análise das manifestações patológicas nos sistemas de revestimentos externos.** Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2016. 329 p.

PAIVA, S. C. **Estudo químico de saibro coletado na Região Metropolitana do Recife para utilização nas argamassas de assentamento e revestimento em alvenaria.** Dissertação. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008. 128p.

PAVÍA, S.; TOOMEY, B. Influence of the aggregate quality on the physical properties of natural feebly-hydraulic lime mortars. **Materials and Structures**, 41 (3), 2008, p. 559-569.

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.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, Elsevier, v. 90, 103–115, 2018.

PEREIRA, L. M. **Avaliação das Patologias e da Biodeterioração na Biblioteca Central Da UFSM.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. 126 p.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. **Tecnologia de edificações.** São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 571-578.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. 120 p.

PEZZATO, L. M. **Patologias no sistema de revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas.** Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 162p.

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

PIRES, R.; BRITO, J.; AMARO, B. Technical papers inspection, diagnosis, and rehabilitation system of painted rendered façades. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 29 (2), 2015.

PIRES SOBRINHO, C. W. *et. al.* CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. (Org.). **ENGENHARIA PARA PRÉDIOS-CAIXÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE.** 1 ed. Brasília: Vila Romana-Editoração e Comunicação, 2012.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e na infiltração de água em fachadas por ação da chuva dirigida.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 180p.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachadas de edifícios: limpeza dos revestimentos.** Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 215p.

RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. B. de. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios.** Boletim Técnico: BT/PCC/462. São Paulo: EPUSP, 2007, 25p.

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

SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

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

SANTOS JR., W. B. **Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas.** Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 101p.

SANTOS, A. R.; VEIGA, M. R.; SILVA, A. S.; BRITO, J.; ÁLVAREZ, J. I. Evolution of the microstructure of lime based mortars and influence on the mechanical behaviour: The role of the aggregates. **Construction and Building Materials**, 187 (30), 2018, p. 907-922.

SATAPATHY, S. C.; MURTHY, J. V. R.; REDDY, P. V. G. D. P.; MISRA, B. B.; DASH, P.K.; PANDA, G. Particle swarm optimized multiple linear regression linear model for data classification. **Appl Soft Comput**, 9(2), 2009. p.470–476.

SERRALHEIRO, M. I.; Brito, J.; SILVA, A. Methodology for service life prediction of architectural concrete facades. **Construction and Building Materials**, 133, 2017. p. 261–274.

SETUNGE S.; HASAN M S. Concrete bridge deterioration prediction using Markov chain approach. **International conference on structural engineering, construction and management (ICSECM)**, Kandy, Paper 95, 2011.

SHIRAKAWA, M. A.; LOH, K. JOHN, V. M.; SILVA, M. E. S.; GAYLARDE, C.C. Biodeterioration of painted mortar surfaces in tropical urban and coastal situations: Comparison of four paint formulations. **International Biodeterioration Biodegradation**, 65, I. 5, 2011. p. 669-674.

SHOHET, I.; PUTTERMAN, M.; GILBOA, E. Deterioration patterns of building cladding components for maintenance management. **Construction Management and Economics**, 20(4), 2002, p.305–31.

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

SILVA, A. J. C. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Boletim Técnico: BT/PCC/285. São Paulo: EPUSP, 2001, 25p.

_____. **Tecnologia de Revestimento**. Notas de Aula do Curso de Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas da Universidade de Pernambuco. Recife, 2018.

SILVA, A. F. F. **Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes**. Dissertação. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2009.

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

_____. Comparative analysis of service life prediction methods applied to rendered façades. **Materials and Structures**, 49 (11), 2016. p. 4893-4910.

_____. A comparative multi-criteria decision analysis of service life prediction methodologies for rendered façades. **Journal of Building Engineering**, 20, 2018. p.476–487.

SILVA, A.; DIAS J. L. R.; GASPAR, P. L.; BRITO J. Statistical models applied to service life prediction of rendered façades. **Automation Construction**, 30, 2013, p.151–160.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 186 p.

SILVA, F. G. S. **Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006. 266p.

SILVA, J. J. P. B. D. **Vidas úteis dos elementos da construção em edifícios habitacionais - sistemas envelope e interior**. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2011.

SILVA, J. M. B. **Estudo da durabilidade do revestimento de paredes exteriores**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF**. Tese. Universidade de Brasília, Brasília, 2014. 198p.

SILVA, R. C. da; GONÇALVES, M. de O.; ALVARENGA, R. de C. S. S. A. Alvenaria racionalizada. **Téchne**, n. 112, julho de 2006.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. Ceramic tiling inspection system. **Construction and Building Materials**, 23 (4), 2009, p. 653–668.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. Inspection and repair of ceramic tiling within a building management system. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 22 (1), 2010, p 39–48.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization. The “Law of fives”. Durability of concrete structures, **Proceedings...** Copenhagen: CEB-RILEM, 1984. p. 18-20.

SOLAR, P.; RÍO, M.; VILLORIA, P.; NADAL, A. Analysis of recurrent defects in the execution of ceramic coatings cladding in building construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, 142 (4), 2016.

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.

SOUSA, R. B.; BRITO J.; GASPAS, P.; SILVA A. Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. **Building Research and Information**, 39 (1), 2011. p. 66–78.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 114p.

SOUZA, J. S.; BAUER, E.; NASCIMENTO, M. L. M.; CAPUZZO, V. M. S.; ZANONI, V. A. G. Study of damage distribution and intensity in regions of the facade. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, 1 (1), p. 1–9, 2016.

SOUZA, J.; SILVA, A.; BRITO, J.; BAUER, E. Application of a graphical method to predict the service life of adhesive ceramic external wall claddings in the city of Brasília, Brazil. **Journal of Building Engineering**, 19, 2018. p. 1-13.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 87 p.

TEMP, A. L. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

UCHÔA, J. C. B. **Análise numérica e experimental da fadiga termomecânica em argamassas colantes no sistema de revestimento cerâmico**. Tese. Universidade de Brasília, Brasília, 2015. 214p.

VASQUEZ, E. G.; EVANGELISTA, A. C. J.; QUALHARINI, E. L.; RAMOS, C. S. Processo de investigação patológica no subsistema de Revestimento de fachadas com placas

cerâmicas. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. **Anais...** Rio Grande do Sul: XIII ENTAC, 2010.

VENKATESHAN S.P.; SWAMINATHAN, P. **Computational methods in engineering**, Chapter 7—Regression or curve fitting, Elsevier, Oxford, 2007, p. 275–294.

XIMENES, S.; MAGOS, M; BRITO, J.; GASPAR, P.; SILVA, A. Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls. **Materials and Structures**, 48, 2015. p. 2235-2249.

YIU, C. Y.; HO, D. C. W.; LO, S. M. Weathering effects on external wall tiling systems. **Construction and Building Materials**, 21 (3), 2007, p. 594–600.

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. Chuva dirigida: um estudo da iso 15927-3 no contexto brasileiro. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014, Maceió. **Anais....** Alagoas: XV ENTAC, 2014.

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

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

EDF	Endereço	Nº de pavimentos	Distância para o mar (km)	Características do entorno	Ano da última intervenção	Textura	Cores	Nº de fachadas analisadas
A	Rua Quipapá, 331, Iputinga	3	8	Urbano	2001	Lisa	Branco e pêssego	4
B	Rua João Francisco Lisboa, 121, Várzea	4	8	Urbano	2011	Lisa	Branco e verde	14
C	Rua João Francisco Lisboa, 121, Várzea	4	8	Urbano	2011	Lisa	Branco e verde	14
D	Rua João Francisco Lisboa, 121, Várzea	4	8	Urbano	2011	Lisa	Branco e verde	14
E	Rua Sebastião de Alencastro Salazar, 100, Várzea	4	8	Urbano	2013	Textura	Branco e verde	20
F	Rua Sebastião de Alencastro Salazar, 100, Várzea	4	8	Urbano	2013	Textura	Branco e verde	20
G	Rua Sebastião de Alencastro Salazar, 100, Várzea	4	8	Urbano	2013	Textura	Branco e verde	20
H	Rua Almir Azevedo, 76, Várzea	4	7	Urbano	2014	Lisa	Verde escuro e azul	8
I	Rua Professor Antonio Coelho, 276, Várzea	4	7	Urbano	2014	Lisa	Branco e vermelho	6
J	Rua Professor Antonio Coelho, 276, Várzea	4	7	Urbano	2014	Lisa	Bege e amarelo	4
K	Rua Professor Antonio Coelho, 276, Várzea	4	7	Urbano	2014	Lisa	Bege	5
L	Avenida Professor Chaves Batista, 286, Várzea	4	7	Urbano	2006	Lisa	Amarelo e vermelho	3
M	Avenida Professor Chaves Batista, 271, Várzea	4	7	Urbano	2010	Lisa	Azul escuro	2
N	Avenida Professor Chaves Batista, 115, Várzea	4	7	Urbano	2008	Lisa	Verde claro	5

EDF	Endereço	Nº de pavimentos	Distância para o mar (km)	Características do entorno	Ano da última intervenção	Textura	Cores	Nº de fachadas analisadas
O	Rua Emiliano Braga, Várzea	3	7	Urbano	2015	Lisa	Branco e azul escuro	2
P	Rua Professor Antonio Coelho, 157, Várzea	4	7	Urbano	2007	Lisa	Azul claro	3
Q	Rua Professor Antonio Coelho, 190, Várzea	4	7	Urbano	2017	Lisa	Branco e verde escuro	3
R	Av. Prof. José dos Anjos, 1561 – Tamarineira	4	4	Urbano	2019	Textura	Branco e cinza	6
S	Av. Prof. José dos Anjos, 1561 – Tamarineira	4	4	Urbano	2010	Textura	Branco e rosa	6
T	Av. Prof. José dos Anjos, 1561 – Tamarineira	4	4	Urbano	2010	Textura	Verde e cinza	6
U	Rua Orós, n. 70, Cordeiro	4	6	Urbano	2016	Lisa	Branco e verde	6
V	Rua Orós, n. 200, Cordeiro	4	6	Urbano	2012	Lisa	Verde claro e escuro	6
W	Rua Orós, n. 200, Cordeiro	4	6	Urbano	2017	Lisa	Branco e azul	6
X	Rua Presidente Nilo Peçanha, 231, Imbiribeira	4	1,7	Urbano	2014	Lisa	Branco, Amarelo e Vermelho	8
Y	Rua Carlos Pena Filho, 241, Afogados	4	4	Urbano	2009	Textura	Bege e azul	12
Z	Rua Engenheiro José Brandão Cavalcante, N. 630, Imbiribeira	4	3,5	Urbano	2015	Lisa	Branco e pêssego	10
ZA	Rua Engenheiro José Brandão Cavalcante, N. 630, Imbiribeira	4	3,5	Urbano	2014	Lisa	Branco e amarelo	10
ZB	Rua Arquiteto Luis Nunes, N. 822, Imbiribeira	4	3,2	Urbano	2013	Textura	Amarelo claro	13

APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS E CÁLCULO DA DEGRADAÇÃO

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Descolamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FA1N	15	N	A	L	>5	D	E	A	I	45,00	31,00	14,50	74,50	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	8,00	165,00	16,41
FA1S	15	S	A	L	>5	D	E	A	I	0,00	12,00	39,00	114,00	0,00	7,25	0,00	0,00	9,50	11,00	165,00	22,78
FA1L	15	L	A	L	>5	D	E	A	I	0,00	28,00	42,00	75,00	0,00	9,75	0,00	0,00	0,00	13,75	145,00	21,85
FA1O	15	O	A	L	>5	D	E	A	I	80,00	43,00	8,00	14,00	0,00	13,75	0,00	0,00	0,00	24,75	145,00	19,67
EDFA	15			L	>5	C				125,00	114,00	103,50	277,50	0,00	46,75	0,00	0,00	9,50	57,50	620,00	20,14
FB1N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	73,75	22,25	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	10,41
FB2N	8	N	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	50,75	9,00	6,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	9,69
FB3N	8	N	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	59,25	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	66,00	9,25
FB4N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	82,75	5,25	8,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	10,36
FB1S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	0,00	96,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,25	0,00	96,00	18,33
FB2S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	0,00	0,00	66,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	16,67
FB3S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	0,00	7,50	58,50	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	16,86
FB4S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	8,50	87,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	16,30
FB1L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	102,00	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	13,91
FB2L	8	L	C	L	>5	C	I	A	C	24,75	0,00	1,00	10,25	0,00	8,50	2,00	0,00	0,00	0,00	36,00	15,21
FB3L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	102,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,75	0,00	0,00	102,00	14,64
FB1O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	93,50	8,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	12,97
FB2O	8	O	C	L	>5	C	I	A	C	0,00	22,00	12,50	1,50	0,00	1,25	1,50	0,00	0,00	0,00	36,00	13,08
FB3O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	77,25	24,75	0,00	4,25	0,00	0,00	2,25	0,00	102,00	15,38
EDFB	8			L	>5	C				24,75	288,50	440,75	373,50	0,00	40,00	3,50	1,25	5,50	0,00	1128,00	13,83
FC1N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	82,50	1,50	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	9,44
FC2N	8	N	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	60,50	2,50	0,00	0,00	0,75	0,00	4,00	0,00	0,00	66,00	9,91
FC3N	8	N	B	L	>5	C	E	P	I	25,00	22,00	20,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	8,49
FC4N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	52,00	26,75	9,25	8,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	6,83
FC1S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	12,00	0,00	84,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	96,00	16,60
FC2S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	9,25	0,00	56,75	0,00	0,75	0,00	0,00	2,50	0,00	66,00	17,20
FC3S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	3,75	0,00	62,25	0,00	3,00	0,00	0,00	5,00	0,00	66,00	20,17
FC4S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	9,50	0,00	0,00	86,50	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	16,40
FC1L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	102,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	13,05
FC2L	8	L	C	L	>5	C	I	A	C	0,00	25,25	2,75	8,00	3,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	36,00	14,67
FC3L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	102,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	13,79
FC1O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	55,00	47,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	16,26
FC2O	8	O	C	L	>5	C	I	A	C	0,00	25,50	9,00	1,50	2,50	4,00	1,25	0,00	0,00	0,00	36,00	15,39
FC3O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	68,00	34,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	15,97
EDFC	8			L	>5	C				86,50	267,50	372,00	400,00	5,50	45,00	2,75	4,00	9,00	0,00	1128,00	13,76
FD1N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	24,00	36,75	31,00	3,75	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	9,51
FD2N	8	N	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	44,25	16,25	5,50	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	10,62

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Deslocamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FD4N	8	N	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	66,00	30,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	9,94
FD1S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	10,50	0,00	85,50	0,00	4,25	0,00	0,00	0,50	0,00	96,00	17,06
FD2S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	3,75	0,00	62,25	0,00	0,75	0,00	0,00	1,00	0,00	66,00	17,05
FD3S	8	S	B	L	>5	C	E	P	I	0,00	3,75	0,00	62,25	0,00	1,75	0,00	1,00	0,00	0,00	66,00	17,23
FD4S	8	S	B	L	>5	C	I	P	C	0,00	2,00	0,00	94,00	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	17,34
FD1L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	0,00	102,00	0,00	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	19,06
FD2L	8	L	C	L	>5	C	I	A	C	25,00	8,00	0,00	3,00	2,50	2,75	2,75	0,00	0,00	0,00	36,00	11,57
FD3L	8	L	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	0,00	102,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	18,57
FD1O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	34,75	67,75	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	16,92
FD2O	8	O	C	L	>5	C	I	A	C	26,00	0,00	8,50	1,50	0,00	5,50	2,25	0,00	0,00	0,00	36,00	12,09
FD3O	8	O	B	L	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	97,75	4,25	0,00	6,75	0,00	1,75	0,00	0,00	102,00	14,76
EDFD	8			L	>5	C				76,00	177,00	221,25	597,75	6,25	57,75	9,00	4,75	4,50	4,00	1062,00	15,93
FE1N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	47,00	0,00	22,00	3,00	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	8,13
FE2N	6	N	C	T	>5	C	I	P	C	26,75	0,75	2,50	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	3,73
FE3N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	61,50	7,50	9,25	2,25	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	6,34
FE4N	6	N	B	T	>5	C	I	P	C	25,00	0,00	5,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	5,69
FE5N	6	N	B	T	>5	C	I	P	C	18,00	10,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	4,86
FE1S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	12,50	0,00	17,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	13,19
FE2S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	9,00	63,00	0,00	6,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	18,49
FE3S	6	S	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	16,67
FE4S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	0,00	72,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	18,40
FE5S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	20,00	10,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	14,93
FE1L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	11,00	37,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	11,55
FE2L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	19,50	0,00	28,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	13,80
FE3L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	56,00	28,00	0,00	9,25	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	16,64
FE4L	6	L	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	5,75	8,75	15,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	13,85
FE5L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	71,00	13,00	0,00	5,75	3,50	0,00	0,00	0,00	84,00	16,94
FE1O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	31,00	13,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	4,99
FE2O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	50,50	32,25	1,25	0,00	10,25	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	13,11
FE3O	6	O	C	T	>5	C	I	P	C	26,75	2,00	1,25	0,00	1,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	4,53
FE4O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	75,00	9,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	11,09
FE5O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	38,50	0,00	5,50	4,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	5,14
EDFE	6			T	>5	C				274,50	207,50	290,50	292,00	1,00	63,50	3,50	0,00	0,00	0,00	1056,00	11,91
FF1N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	36,00	30,00	6,00	0,00	6,75	1,50	0,00	0,00	0,00	72,00	14,15
FF2N	6	N	C	T	>5	C	I	P	C	27,00	0,00	1,25	1,75	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	4,20
FF3N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	35,00	34,00	3,00	0,00	10,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	14,21
FF4N	6	N	B	T	>5	C	I	P	C	26,75	0,00	2,50	1,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	3,80

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Deslocamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FF1S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	11,75	7,50	0,00	10,75	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	9,29
FF2S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	22,50	0,00	49,50	0,00	7,25	0,50	0,00	0,00	0,00	72,00	16,93
FF3S	6	S	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	16,67
FF4S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	0,00	72,00	0,00	3,25	0,50	0,00	0,00	0,00	72,00	18,14
FF5S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	7,50	2,50	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	14,24
FF1L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	15,75	8,75	7,50	8,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	8,89
FF2L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	29,50	0,00	18,50	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	12,20
FF3L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	19,25	21,00	43,75	0,00	7,75	0,50	0,00	0,00	0,00	84,00	16,32
FF4L	6	L	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	17,00	12,50	0,50	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	16,04
FF5L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	38,50	45,50	0,00	4,00	0,50	0,00	0,00	0,00	84,00	16,25
FF1O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	34,50	0,00	9,50	4,00	0,00	1,50	1,75	0,00	0,00	0,00	48,00	7,96
FF2O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	39,25	0,00	44,75	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	1,50	0,00	84,00	13,21
FF3O	6	O	C	T	>5	C	I	P	C	26,75	0,00	2,50	1,25	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	4,64
FF4O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	36,00	33,00	14,00	0,00	0,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	10,42
FF5O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	35,00	0,00	5,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	5,60
EDFF	6			T	>5	C				253,75	218,00	228,50	327,75	2,00	89,25	9,25	2,00	4,50	4,00	1026,00	13,52
FG1N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	30,00	36,00	0,00	6,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	7,47
FG2N	6	N	C	T	>5	C	I	P	C	26,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	4,03
FG3N	6	N	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	66,00	0,00	6,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	9,38
FG4N	6	N	B	T	>5	C	I	P	C	24,25	0,00	2,50	3,25	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	6,41
FG5N	6	N	B	T	>5	C	I	P	C	21,50	7,25	1,25	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	6,53
FG1S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	7,75	6,00	16,25	0,00	1,25	0,75	0,00	0,00	0,00	30,00	15,97
FG2S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	33,00	39,00	0,00	4,25	0,00	0,00	4,25	0,00	72,00	18,45
FG3S	6	S	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	13,50	16,50	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	16,04
FG4S	6	S	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	0,00	0,00	72,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,25	0,00	72,00	18,71
FG5S	6	S	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	10,75	19,25	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	16,42
FG1L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	24,00	8,00	12,00	4,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	7,20
FG2L	6	L	B	T	>5	C	I	P	C	0,00	0,00	22,00	26,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	16,06
FG3L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	37,25	31,50	15,25	0,00	19,00	0,00	0,00	0,50	0,00	84,00	17,29
FG4L	6	L	C	T	>5	C	I	P	C	0,00	10,50	16,00	3,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	13,61
FG5L	6	L	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	47,00	30,00	7,00	0,00	20,75	0,00	0,50	0,75	0,00	84,00	17,18
FG1O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	31,50	12,50	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	4,93
FG2O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	61,50	22,50	0,00	0,00	13,75	3,75	0,00	0,00	0,00	84,00	15,77
FG3O	6	O	C	T	>5	C	I	P	C	26,00	0,00	0,00	4,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	5,69
FG4O	6	O	B	T	>5	C	E	P	C	0,00	73,50	10,50	0,00	0,00	12,50	2,50	1,25	4,00	0,00	84,00	16,22
FG5O	6	O	B	T	>5	C	I	P	C	26,50	13,25	7,25	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	6,25
EDFG	6			T	>5	C				209,75	380,50	218,75	246,00	0,00	95,50	7,00	1,75	11,75	0,00	1056,00	12,94

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Deslocamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FH2S	5	S	E	L	>5	D	I	A	C	0,00	89,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,25	0,00	90,00	9,53
FH3S	5	S	E	L	>5	D	E	A	C	0,00	90,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	2,25	0,00	0,00	90,00	10,28
FH4S	5	S	E	L	>5	D	E	A	C	0,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,75	2,25	0,00	0,00	0,00	120,00	9,43
FH1L	5	L	E	L	>5	D	E	A	C	36,00	18,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	4,25	0,00	54,00	9,20
FH2L	5	L	E	L	>5	D	I	A	C	29,25	0,00	0,75	0,00	0,00	1,75	1,25	0,25	0,00	0,00	30,00	6,09
FH1O	5	O	E	L	>5	D	E	A	C	0,00	78,00	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	1,00	0,00	0,00	78,00	10,42
FH2O	5	O	E	L	>5	D	E	A	C	0,00	90,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	4,00	0,00	90,00	11,25
EDFH	5			L	>5	D				66,25	487,00	4,75	4,00	2,00	24,75	7,50	9,25	11,50	4,00	552,00	11,37
FI1N	5	N	B	L	>5	D	E	P	C	63,00	21,00	0,00	0,00	0,00	9,50	0,00	0,00	1,50	0,00	84,00	7,14
FI1S	5	S	B	L	>5	D	E	P	I	81,75	18,00	14,25	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,00	8,32
FI2S	5	S	B	L	>5	D	E	P	C	24,75	59,25	0,00	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	3,50	0,00	84,00	12,82
FI1L	5	L	B	L	>5	D	E	P	C	3,00	9,00	57,00	3,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	12,59
FI2L	5	L	B	L	>5	D	E	P	I	71,00	21,50	9,50	0,00	0,00	11,75	0,00	0,00	0,50	0,00	102,00	7,43
FI3L	5	L	B	L	>5	D	E	P	I	75,50	12,50	14,00	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	5,69
EDFI	5			L	>5	D				319,00	141,25	94,75	3,00	0,00	63,50	0,00	0,00	5,50	0,00	558,00	8,73
FJ1N	5	N	A	L	>5	D	E	P	C	70,00	7,00	7,00	0,00	0,00	9,75	0,00	8,50	2,00	0,00	84,00	9,80
FJ1S	5	S	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	81,50	0,00	2,50	0,00	19,00	0,00	0,00	4,25	0,25	84,00	16,33
FJ1L	5	L	A	L	>5	D	E	P	I	55,00	34,50	12,50	0,00	0,00	23,50	0,25	0,00	0,00	0,00	102,00	11,36
FJ2L	5	L	A	L	>5	D	E	P	I	78,50	5,75	17,75	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	4,25	0,00	102,00	9,73
EDFJ	5			L	>5	D				203,50	128,75	37,25	2,50	0,00	68,25	0,25	8,50	10,50	0,25	372,00	11,68
FK1N	5	N	A	L	>5	D	E	P	C	59,25	5,75	7,00	0,00	0,00	9,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	6,81
FK2N	5	N	A	L	>5	D	E	P	C	38,00	6,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	3,73
FK1S	5	S	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	46,25	37,75	0,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	14,67
FK1L	5	L	A	L	>5	D	E	P	I	46,75	15,00	40,25	0,00	0,00	45,25	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	18,20
FK2L	5	L	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	34,50	8,00	29,50	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	18,46
EDFK	5			L	>5	D				144,00	107,50	97,00	29,50	0,00	87,50	0,00	0,00	0,00	0,00	378,00	13,46
FL1L	13	L	A	L	>5	D	E	A	C	0,00	130,50	73,50	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	62,50	0,00	204,00	22,40
FL1S	13	S	A	L	>5	D	E	A	C	0,00	54,25	20,50	3,25	0,00	2,25	3,25	0,00	7,25	0,00	78,00	16,07
FL1N	13	N	A	L	>5	D	E	A	C	0,00	74,25	3,25	0,00	0,00	3,50	0,00	9,25	0,75	0,00	78,00	12,90
EDFL	13			L	>5	D				0,00	259,00	97,25	3,25	0,00	14,50	3,25	9,25	70,50	0,00	360,00	18,97
FM1O	9	O	E	L	>5	D	E	P	I	0,00	81,00	0,00	9,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00	13,89
FM1S	9	S	E	L	>5	D	E	P	C	0,00	114,75	17,25	18,00	0,00	25,00	0,00	0,00	8,25	0,00	150,00	16,04
EDFM	9			L	>5	D				0,00	195,75	17,25	27,00	0,00	42,00	0,00	0,00	8,25	0,00	240,00	15,23
FN1O	11	O	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	36,00	63,00	9,00	0,00	23,00	3,00	0,00	0,00	0,00	108,00	18,17
FN2O	11	O	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	24,50	74,50	9,00	0,00	24,00	0,00	0,00	1,00	0,00	108,00	17,80
FN1N	11	N	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	26,00	82,00	0,00	0,00	13,25	0,25	0,00	1,25	0,25	108,00	15,27
FN2N	11	N	A	L	>5	D	E	P	C	0,00	40,00	68,00	0,00	0,00	13,00	0,00	3,00	0,00	0,00	108,00	14,66

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade (anos)	Orientação (N/S/L/O)	Cor (B/A/C/E)	Textura (L/T)	Distância do mar (km) (>5/entre 1 e 5/<1)	Poluentes (C/D)	Ação vento chuva (E/I)	Detalhes construtivos (P/A)	Geometria (C/I)	Estéticas				Fissuras			Deslocamento				
										1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
EDFN	11			L	>5	D				1,00	128,50	290,50	22,00	2,00	76,25	7,25	5,00	5,25	4,25	432,00	18,47
FO1N	4	N	B	L	>5	D	E	A	C	44,25	7,25	4,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	56,00	4,85
FO1O	4	O	B	L	>5	D	E	A	C	162,50	10,50	0,00	8,50	0,00	12,25	0,00	0,00	0,00	0,00	161,50	5,41
EDFO	4			L	>5	D				206,75	17,75	4,50	8,50	0,00	14,75	0,00	0,00	0,00	0,00	217,50	5,27
FP1N	12	N	C	L	>5	D	E	A	I	0,00	21,50	11,50	16,00	0,00	6,00	0,00	0,00	1,25	0,00	49,00	16,05
FP1O	12	O	C	L	>5	D	E	A	I	0,00	0,00	42,50	13,50	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	56,00	16,41
FP2O	12	O	C	L	>5	D	E	A	I	35,50	26,25	13,75	14,50	0,00	10,50	0,00	0,00	20,00	0,00	90,00	19,10
EDFP	12			L	>5	D				35,50	47,75	67,75	44,00	0,00	23,00	0,00	0,00	21,25	0,00	195,00	17,56
FQ1N	2	N	B	L	>5	D	E	A	C	102,00	12,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	142,50	3,03
FQ1S	2	S	B	L	>5	D	E	A	C	43,75	14,75	6,50	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,75	5,59
FQ1L	2	L	B	L	>5	D	E	A	I	47,25	19,25	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,50	6,90
EDFQ	2			L	>5	D				193,00	46,00	6,50	0,00	0,00	14,75	0,00	0,00	0,00	0,00	270,75	4,56
FR1S	0	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	0,00
FR2S	0	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	0,00
FR3S	0	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	0,00
FR1O	0	O	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	0,00
FR2O	0	O	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	0,00
FR1L	0	L	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	144,00	0,00
EDFR	0			T	entre 1 e 5	D				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	408,00	0,00
FS1S	9	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	49,50	22,50	0,00	11,50	1,50	0,00	6,00	0,00	72,00	21,96
FS2S	9	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	30,00	18,00	0,00	7,75	0,00	0,00	4,00	0,00	48,00	21,22
FS3S	9	S	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	10,00	38,00	0,00	2,50	0,00	0,00	4,00	0,00	48,00	20,23
FS1O	9	O	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	44,00	0,00	4,00	0,00	3,50	2,00	0,00	0,00	0,00	48,00	12,93
FS2O	9	O	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	42,00	0,00	2,00	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	11,76
FS1L	9	L	B	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	44,75	0,00	99,75	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	144,00	15,39
EDFS	9			T	entre 1 e 5	D				0,00	130,75	89,50	184,25	0,00	39,75	3,50	0,00	14,00	0,00	408,00	17,09
FT1S	9	S	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	49,75	22,25	0,00	8,75	0,00	0,00	2,25	0,00	72,00	18,00
FT2S	9	S	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	31,75	16,25	0,00	5,00	0,00	0,00	2,00	0,00	48,00	18,08
FT3S	9	S	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	18,00	30,00	0,00	4,25	0,00	0,00	1,50	0,00	48,00	18,49
FT1O	9	O	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	42,00	3,00	3,00	0,00	8,25	0,00	0,00	2,00	0,00	48,00	14,97
FT2O	9	O	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	45,50	0,00	2,50	0,00	8,00	0,00	0,00	2,00	0,00	48,00	14,50
FT1L	9	L	C	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	131,75	12,25	0,00	9,00	0,00	0,00	6,00	0,00	144,00	15,98
EDFT	9			T	entre 1 e 5	D				0,00	87,50	234,25	86,25	0,00	43,25	0,00	0,00	15,75	0,00	408,00	16,58
FU1S	3	S	B	L	>5	D	E	P	C	80,00	4,00	12,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	4,23
FU2S	3	S	B	L	>5	D	E	P	C	78,25	4,50	13,25	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	4,27
FU1L	3	L	B	L	>5	D	E	P	C	54,50	7,00	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	4,21
FU2L	3	L	B	L	>5	D	E	P	C	30,00	6,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	3,99

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Desplacamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FU2O	3	O	B	L	>5	D	E	P	C	34,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	2,34
EDFU	3			L	>5	D				278,25	25,00	38,75	4,00	2,00	8,25	4,00	2,00	3,00	4,00	336,00	6,57
FV1S	7	S	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	0,00	93,50	8,50	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	15,05
FV2S	7	S	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	0,00	93,50	8,50	0,00	15,75	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	16,71
FV1L	7	L	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	13,50	22,50	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	13,54
FV2L	7	L	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	16,00	20,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	13,77
FV1O	7	O	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	27,00	9,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	11,11
FV2O	7	O	C	L	>5	D	E	A	C	0,00	24,00	12,00	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	11,28
EDFV	7			L	>5	D				0,00	80,50	250,50	17,00	0,00	37,75	0,00	0,00	0,00	0,00	348,00	14,45
FW1S	2	S	B	L	>5	D	E	A	C	87,50	14,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	2,99
FW2S	2	S	B	L	>5	D	E	A	C	80,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	3,43
FW1L	2	L	B	L	>5	D	E	A	C	31,50	4,50	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	3,39
FW2L	2	L	B	L	>5	D	E	A	C	33,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	2,60
FW1O	2	O	B	L	>5	D	E	A	C	33,75	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	2,47
FW2O	2	O	B	L	>5	D	E	A	C	34,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	2,34
EDFW	2			L	>5	D				300,25	48,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	348,00	3,00
FX1N	5	N	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	38,50	3,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	9,57
FX2N	5	N	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	38,50	3,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	9,28
FX1S	5	S	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	19,25	22,75	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	17,29
FX2S	5	S	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	22,75	19,25	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	16,49
FX1L	5	L	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	7,50	76,50	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	14,81
FX2L	5	L	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	35,00	49,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	14,34
FX1O	5	O	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	52,75	31,25	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	11,22
FX2O	5	O	B	L	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	54,50	29,50	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	10,84
EDFX	5			L	entre 1 e 5	D				0,00	226,75	235,25	42,00	0,00	39,25	0,00	0,00	0,00	0,00	504,00	12,92
FY1N	10	N	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	38,50	1,75	1,75	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	10,94
FY2N	10	N	E	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	66,00	0,00	6,00	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	9,98
FY3N	10	N	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	38,50	0,00	3,50	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	10,81
FY1S	10	S	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	9,00	33,00	0,00	0,00	14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	20,09
FY2S	10	S	E	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	30,75	41,25	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	12,20
FY3S	10	S	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	9,00	33,00	0,00	0,00	20,25	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	23,66
FY1L	10	L	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	84,00	0,00	0,00	32,25	0,00	0,00	0,50	0,00	84,00	22,32
FY2L	10	L	E	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	42,00	0,00	2,25	3,75	0,00	0,00	0,50	0,00	42,00	16,07
FY3L	10	L	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	84,00	0,00	0,00	40,75	0,00	0,75	0,00	0,00	84,00	24,85
FY1O	10	O	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	77,00	7,00	0,00	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	11,14
FY2O	10	O	E	T	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	40,25	1,75	0,00	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	9,85
FY3O	10	O	A	T	entre 1 e 5	C	E	P	C		77,00	7,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	10,24
EDFY	10			T	entre 1 e 5	C				0,00	386,00	334,75	11,25	2,25	140,50	0,00	0,75	1,00	0,00	732,00	15,29

Amostra	Caracterização das amostras									Quantificação da degradação: Área afetada pelos defeitos (m2)									Área aproximada (m2)	Sw	
	Idade	Orientação	Cor	Textura	Distância do mar (km)	Poluentes	Ação vento chuva	Detalhes construtivos	Geometria	Estéticas				Fissuras			Desplacamento				
	(anos)	(N/S/L/O)	(B/A/C/E)	(L/T)	(>5/entre 1 e 5/<1)	(C/D)	(E/I)	(P/A)	(C/I)	1	2	3	4	2	3	4	2	3			4
FZ1N	4	N	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	66,00	6,00	0,00	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	4,08
FZ2N	4	N	A	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	55,00	5,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	4,06
FZ3N	4	N	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	66,00	6,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	3,91
FZ1S	4	S	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	45,00	27,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	11,55
FZ2S	4	S	A	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	41,50	18,50	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	11,60
FZ3S	4	S	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	33,00	39,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	12,67
FZ1L	4	L	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	84,00	12,00	0,00	0,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	9,96
FZ2L	4	L	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	86,50	9,50	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	10,05
FZ1O	4	O	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	91,50	0,00	4,50	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	3,94
FZ2O	4	O	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	93,25	0,00	2,75	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	3,88
EDF Z	4			L	entre 1 e 5	C				371,75	307,00	113,25	0,00	0,00	47,25	0,00	0,00	0,00	0,00	792,00	7,49
FZA1N	5	N	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	63,00	6,00	2,50	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	4,95
FZA2N	5	N	A	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	52,00	5,00	3,00	0,00	0,00	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	5,31
FZA3N	5	N	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	63,00	5,50	3,50	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	4,72
FZA1S	5	S	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	72,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	14,06
FZA2S	5	S	A	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	60,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	14,17
FZA3S	5	S	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	0,00	72,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	14,15
FZA1L	5	L	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	87,25	8,75	0,00	0,00	10,75	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	11,51
FZA2L	5	L	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	0,00	68,00	28,00	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	11,83
FZA1O	5	O	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	88,00	8,00	0,00	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	4,88
FZA2O	5	O	B	L	entre 1 e 5	C	E	P	C	88,00	8,00	0,00	0,00	0,00	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	5,08
EDF ZA	5			L	entre 1 e 5	C				354,00	187,75	249,75	0,00	0,00	66,75	0,00	0,00	0,00	0,00	792,00	8,96
FZB1N	6	N	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	49,50	1,75	2,75	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	9,70
FZB2N	6	N	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	99,00	4,50	4,50	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	108,00	9,95
FZB3N	6	N	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	49,25	2,25	2,50	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	9,93
FZB4N	6	N	A	T	entre 1 e 5	D	I	P	C	51,75	0,00	2,25	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	3,67
FZB1S	6	S	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	24,00	12,00	18,00	0,00	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	15,39
FZB2S	6	S	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	40,50	31,50	36,00	0,00	12,75	0,00	0,00	0,00	0,00	108,00	15,28
FZB3S	6	S	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	24,00	12,00	18,00	0,00	6,75	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	15,16
FZB4S	6	S	A	T	entre 1 e 5	D	I	P	C	0,00	39,50	10,00	4,50	0,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	11,30
FZB5S	6	S	A	T	entre 1 e 5	D	I	P	C	0,00	39,00	5,75	9,25	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	11,48
FZB1L	6	L	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	66,00	6,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	14,84
FZB2L	6	L	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	0,00	66,00	6,00	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	15,02
FZB1O	6	O	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C		66,00	6,00	0,00	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	11,55
FZB2O	6	O	A	T	entre 1 e 5	D	E	P	C	0,00	66,00	6,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	11,37
EDF ZB	6			T	entre 1 e 5	D				51,75	496,75	226,00	107,50	0,00	72,00	0,00	0,00	0,00	0,00	882,00	12,09