



**COMPORTAMENTO EVOLUTIVO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

ANA LUIZA ROCHA DE SOUZA

**TESE DE DOUTORADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL - ENC
PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL - PECC

COMPORTAMENTO EVOLUTIVO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO

ANA LUIZA ROCHA DE SOUZA

ORIENTADOR: ELTON BAUER

BRASÍLIA – DF
DEZEMBRO – 2025

COMPORTAMENTO EVOLUTIVO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO

ANA LUIZA ROCHA DE SOUZA

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

APROVADO POR:

Prof. Elton Bauer, Dr. (Universidade de Brasília)
(Orientador)

Prof. Cláudio de Souza Kazmierczak, Dr. (Unisinos)
(Examinador Externo)

Prof. Francisco Gabriel Santos Silva, Dr. (Universidade Federal da Bahia)
(Examinador Extern)

Prof^a. Jéssica Siqueira de Souza, Dra. (Universidade de Brasília)
(Examinadora Interna)

Brasília - DF, 17 de dezembro de 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, ANA LUIZA ROCHA DE

Comportamento evolutivo da degradação em fachadas de revestimento cerâmico [Distrito Federal] 2025.

xxii, 149 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutora, Estruturas e Construção Civil, 2025).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachadas

3. Anomalias

5. Revestimento cerâmico

2. Degradação

4. Velocidade

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Doutora)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, A. L. R. (2025). Comportamento evolutivo da degradação em fachadas de revestimento cerâmico. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-XXX/25, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Ana Luiza Rocha de Souza

TÍTULO: Comportamento evolutivo da degradação em fachadas de revestimento cerâmico

GRAU: Doutorado ANO: 2025

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

Ana Luiza Rocha de Souza

CLN 209, Bloco B, Apartamento 102. Asa Norte – CEP:70.854-520/ Brasília - DF/ Brasil

E-mail: luiza31souza@gmail.com

Dedico esta tese aos meus pais, Celso e Sirlene, e ao meu noivo, Gabriel.

Depois do medo, vem o mundo.

Clarice Lispector

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser meu refúgio, me dar forças e discernimento para enfrentar as dificuldades e obstáculos do dia a dia.

Aos meus queridos pais Celso e Sirlene, por todo amor e apoio durante a caminhada. Sempre se fizeram presentes e me deram suporte nos dias mais desafiadores. As palavras de incentivo e confiança fizeram toda a diferença nos dias difíceis e cheios de saudade de casa. Me incentivam a ser uma pessoa melhor a cada dia, na busca pelos meus sonhos. Serão sempre meu maior exemplo e orgulho! Ao meu irmão João Vitor pelo companheirismo. À minha cunhada Poliana, por ser sempre tão carinhosa e prestativa.

Ao meu noivo Gabriel, companheiro de todos os momentos que se fez sempre presente mesmo em dias de distância física. Seu carinho e amor me fortaleceram na caminhada. Ter seu apoio me fez confiar mais em mim mesma. A vida ao seu lado tem mais sentido e realizar sonhos juntos é incrível.

Carrego no coração pessoas especiais, que o tempo e distância não mudam nossa relação sincera e verdadeira de amizade. Às minhas amigas de tantos anos, por acreditarem em mim e me mostrarem que a amizade é um dom. Faz toda diferença ter um ombro amigo nos momentos difíceis. Ao longo da caminhada, conheci pessoas incríveis e admiráveis no PECC, as quais tornaram essa trajetória mais leve e feliz.

Ao meu orientador Elton Bauer por todo o apoio, paciência e dedicação ao longo dos últimos anos. Obrigada por ajudar a ampliar meus conhecimentos, me mostrar sempre com sabedoria e firmeza a melhor forma de resolver problemas e desafios. Terá sempre meu respeito e admiração.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília, contribuíram com o meu crescimento e aprendizado na vida pessoal e profissional durante o doutorado. Agradeço ainda aos professores componentes da banca avaliadora, pelas valiosas contribuições e disponibilidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

As fachadas desempenham funções importantes em um edifício que vão além da estética, como garantir desempenho e durabilidade. Diretamente influenciado pela incidência de agentes, o processo de degradação da fachada ocorre de forma evolutiva, podendo causar redução da vida útil, surgimento e evolução de anomalias e queda de desempenho. Além da ação dos mecanismos, a degradação nos sistemas que compõem a fachada depende do grau de exposição aos agentes e de como os mecanismos atuam em diferentes condições e tipologias de materiais. Dada a importância do tema e a necessidade de informações mais detalhadas e precisas, esta pesquisa visa avaliar como a degradação se comporta com a evolução do tempo em fachadas de revestimento cerâmico, atentando-se para as ocorrências que tornam o processo distinto e heterogêneo. Os dados são obtidos por meio da inspeção de fachadas, que são divididas em amostras. A quantificação das amostras é feita através do Método de Medição de Degradação, e seu principal indicador de degradação é o Fator Geral de Degradação (FGD). A diferenciação da degradação é monitorada em amostras de fachadas com revestimento cerâmico, dividindo-as em 12 faixas com base nos valores de FGD das amostras analisadas. As amostras possuem variação de idade, orientação, grau de exposição e velocidade de degradação, que são as principais variáveis no estudo da degradação de elementos e sistemas de fachada. Quando a degradação é quantificada, é possível observar diferentes comportamentos que mostram que a sua evolução não é um fenômeno homogêneo e uniforme. O estudo identifica que a degradação resulta em distintas fases que podem ser compreendidas pela análise de idade, orientação, grau de exposição, velocidade e anomalias. Em estágios mais avançados de degradação, é comum a manifestação de diversas anomalias devido à interação e sinergia entre agentes e mecanismos. Há uma evidente diferenciação no processo de degradação ao longo do tempo quando variáveis como os agentes e mecanismos envolvidos, idade, grau de exposição e velocidade de degradação são analisadas. O estudo divide o processo evolutivo da degradação em três fases distintas, que são: iniciação, propagação e aceleração. Uma das principais características observadas na evolução da degradação é a forma como as anomalias se manifestam, variando a área afetada e sobreposição de anomalias. A análise detalhada do processo de degradação em fachadas de revestimento cerâmico permite ações de manutenção e reparo mais assertivas, o que pode resultar em maior vida útil e garantir sua funcionalidade.

PALAVRAS-CHAVE: Fachadas; Degradação; Anomalias; Velocidade; Revestimento cerâmico.

ABSTRACT

The facades have important functions in a building that go beyond aesthetics, such as ensuring performance and durability. Directly influenced by the incidence of agents, the process of facade degradation occurs in an evolutionary way being able to cause a reduction in service life, emergence and evolution of anomalies, and performance drop. In addition to the action of the mechanisms, the degradation in the systems that compose the facade depends on the degree of exposure to agents and how the mechanisms act under different conditions and material typologies. Given the importance of the subject and the need for more detailed and accurate information on the degradation process, this research aims to evaluate how the degradation behaves with the evolution of time in ceramic cladding facades, being attentive to the occurrences that make the process distinct and heterogeneous. Data is obtained through inspection of facades, which are divided into samples. The quantification of samples is done through the DMM, Degradation Measurement Method, and its main degradation indicator is the General Degradation Factor (FGD). The degradation differentiation is monitored in samples of facades with ceramic cladding in Brasilia, by dividing into 12 ranges based on the FGD values of the analyzed samples. The sample classified in the 12 degradation ranges includes differentiation in age, orientation, degree of exposure, and velocity of degradation, which are the main variables when studying the degradation of elements and facade systems. When the degradation is quantified, it is possible to observe different behaviors showing that the evolution of the degradation is not a homogeneous and uniform occurrence. The study identifies that, influenced by several factors and variables, degradation results in distinct phases that can be understood by analyzing age, orientation, degree of exposure, velocity, and anomalies. In more advanced stages of degradation, the manifestation of various anomalies is common due to the interaction and synergy between agents and mechanisms. There is a clear differentiation in the degradation process over time when variables such as the agents and mechanisms involved, age, degree of exposure, and velocity of degradation are analyzed. The study divides the evolutionary process of degradation into three distinct phases: initiation, propagation, and acceleration. One of the main characteristics observed in the evolution of degradation is the way in which the anomalies manifest themselves, varying the affected area and overlapping anomalies. Detailed analysis of the degradation process in ceramic cladding facades allows for more assertive maintenance and repair actions, which can result in a longer lifespan and ensure its functionality.

KEYWORDS: Facades; Degradation; Anomalies; Velocity; Ceramic cladding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Solicitações em sistema de vedação vertical	10
Figura 2 - Esquema de vedação com acabamento em placa cerâmica	10
Figura 3 - Esquema de camadas encontradas no sistema de revestimento cerâmico	12
Figura 4 - Natureza dos agentes de degradação	17
Figura 5 - Precedência dos agentes.....	17
Figura 6 - Agentes de degradação segundo a sua origem.....	18
Figura 7 - Agentes de degradação, mecanismos de degradação e anomalias.....	19
Figura 8 - Exemplo das etapas evolutivas da degradação por fissuração em revestimento em argamassa com pintura. (a) Sintomas iniciais; (b) Propagação da fissuração; (c) Degradação generalizada.	27
Figura 9 - Curva de degradação tipo linear	32
Figura 10 - Comportamento da degradação ao longo do tempo de edifícios localizados em Brasília - DF.	33
Figura 11 - Modelo de Tuutti para a corrosão de armaduras.....	38
Figura 12 - Níveis de deterioração do concreto.....	39
Figura 13 - Subdivisão da fase de propagação da corrosão.....	41
Figura 14 - Comparação entre diferentes formas de ponderação dos níveis de degradação dos revestimentos cerâmicos.....	42
Figura 15 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 1	43
Figura 16 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 3	43
Figura 17 - Faixas de Condição de Degradação	45
Figura 18 - Tendência de comportamento de degradação de fachadas em função da orientação	46
Figura 19 - Contribuição da anomalia (FDanom) para a evolução da degradação (FGD).....	47
Figura 20 - Organograma de etapas metodológicas	50
Figura 21 - Classificação do Brasil em zonas bioclimáticas	54
Figura 22 - Valores de chuva dirigida acumulada ao longo do ano	55
Figura 23 - Chuva Dirigida.....	56
Figura 24 - Radiação solar total média mensal ao longo do ano.....	57
Figura 25 - Exemplo de edifícios em Brasília - DF.....	59
Figura 26 - Subdivisão de uma fachada em amostras individuais.....	60

Figura 27 - Detalhes da definição da amostra: (a) obtenção da imagem digital e ortogonalização, (b) esboço de áreas degradadas e (c) representação da malha.....	61
Figura 28 - Tendência de degradação com aplicação do modelo quadrático para edifícios do grupo A, B, C e D.....	64
Figura 29 - Valores médios, mínimos e máximos para idade em cada faixa	79
Figura 30 - Comportamento da idade e FGD médio, mínimo e máximo nas 12 faixas.....	80
Figura 31 - Distribuição das amostras em função da orientação nas 12 faixas de estudo.....	81
Figura 32 - Rastreamento de informações dos edifícios da base de dados.....	86
Figura 33 - Distribuição de amostras das 12 faixas de estudo	88
Figura 34 - Distribuição de amostras em três faixas de velocidade	88
Figura 35 - Distribuição de amostras de baixa velocidade (a); média velocidade (b) e alta velocidade (c)	90
Figura 36 - Distribuição das amostras com base no FGD e V_D	93
Figura 37 - FD_{anom} das amostras da base de dados.....	94
Figura 38 - Características dos grupos de anomalias em cada faixa	95
Figura 39 - Comportamento das amostras da faixa 1 com base no FGD e V_D	97
Figura 40 - Amostras da faixa 1	98
Figura 41 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 1 (b)	99
Figura 42 - Comportamento das amostras da faixa 2 com base no FGD e V_D	100
Figura 43 - Amostras da faixa 2	101
Figura 44 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 2 (b) ..	101
Figura 45 - Comportamento das amostras da faixa 3 com base no FGD e V_D	102
Figura 46 - Amostras da faixa 3	103
Figura 47 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 3 (b) ..	104
Figura 48 - Comportamento das amostras da faixa 4 com base no FGD e V_D	104
Figura 49 - Amostras da faixa 4	105
Figura 50 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 4 (b) ..	106
Figura 51 - Comportamento das amostras da faixa 5 com base no FGD e V_D	106
Figura 52 - Amostras da faixa 5	107
Figura 53 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 5 (b) ..	107
Figura 54 - Comportamento das amostras da faixa 6 com base no FGD e V_D	108
Figura 55 - Amostras da faixa 6	109
Figura 56 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 6 (b) ..	109

Figura 57 - Comportamento das amostras da faixa 7 com base no FGD e V_D	110
Figura 58 - Amostras da faixa 7	111
Figura 59 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 7 (b) ..	111
Figura 60 - Comportamento das amostras da faixa 8 com base no FGD e V_D	112
Figura 61 - Amostras da faixa 8	113
Figura 62 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 8 (b) ..	113
Figura 63 - Comportamento das amostras da faixa 9 com base no FGD e V_D	114
Figura 64 - Amostras da faixa 9	115
Figura 65 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 9 (b) ..	115
Figura 66 - Comportamento das amostras da faixa 10 com base no FGD e V_D	116
Figura 67 - Amostras da faixa 10.	117
Figura 68 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 10 (b)	117
Figura 69 - Comportamento das amostras da faixa 11 com base no FGD e V_D	118
Figura 70 - Amostras da faixa 11	119
Figura 71 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 11 (b)	119
Figura 72 - Comportamento das amostras da faixa 12 com base no FGD e V_D	120
Figura 73 - Amostras da faixa 12	121
Figura 74 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 12 (b)	121
Figura 75 - Índice de descolamento nas 12 faixas.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de avaliação para as placas cerâmicas	11
Tabela 2 - Tipos de regressão e suas aplicações.....	21
Tabela 3 - Definição e limite dos níveis de degradação	44
Tabela 4 - Variáveis da pesquisa	52
Tabela 5 - Acumulado mensal de chuva dirigida ao longo do ano.....	55
Tabela 6 - Média mensal da radiação solar direta observada ao longo do ano	57
Tabela 7 - Índice de exposição por orientação	58
Tabela 8 - Exemplo de edifício da base de dados.....	60
Tabela 9 - Informações de orientação e idade de cada amostra	63
Tabela 10 - Limite de vida útil das amostras.....	66
Tabela 11 - Intervalos de FGD adotados	68
Tabela 12 - Classificação e agrupamento de anomalias de fachada.....	69
Tabela 13 - Descrição das condições de degradação e o fator de gravidade (G)	71
Tabela 14 - Critérios para definir o fator de gravidade G	71
Tabela 15 - Fator de importância relativa (RI) para cada grupo de anomalias	72
Tabela 16 - Faixas de Velocidade.....	73
Tabela 17 - Fatores analisados para cada faixa de degradação	74
Tabela 18 - Valores médios, mínimos e máximos para Idade e FGD de cada faixa.....	76
Tabela 19 - Idades de amostras encontradas em cada uma das faixas de estudo	76
Tabela 20 - Valores médios dos indicadores FGD e V_D	77
Tabela 21 - Amplitude de idades em cada faixa.....	79
Tabela 22 - Divisão das amostras com base na velocidade de degradação.....	91
Tabela 23 - Valores médios dos grupos de anomalias de cada faixa	94
Tabela 24 - Grupos de anomalia primários e secundários para as faixas analisadas.....	96
Tabela 25 - Amplitude de velocidade na faixa 1	98
Tabela 26 - Amplitude de velocidade na faixa 2	100
Tabela 27 - Amplitude de velocidade na faixa 3	102
Tabela 28 - Amplitude de velocidade na faixa 4	105
Tabela 29 - Amplitude de velocidade na faixa 5	107
Tabela 30 - Amplitude de velocidade na faixa 6	108
Tabela 31 - Amplitude de velocidade na faixa 7	110

Tabela 32 - Amplitude de velocidade na faixa 8	112
Tabela 33 - Amplitude de velocidade na faixa 9	114
Tabela 34 - Amplitude de velocidade na faixa 10	116
Tabela 35 - Amplitude de velocidade na faixa 11	118
Tabela 36 - Amplitude de velocidade na faixa 12	120
Tabela 37 - Critério para <i>outliers</i> das faixas estudadas	122
Tabela 38 - <i>Outliers</i> da faixa 1	123
Tabela 39 - <i>Outliers</i> da faixa 2	124
Tabela 40 - <i>Outliers</i> da faixa 3	124
Tabela 41 - <i>Outliers</i> da faixa 4	125
Tabela 42 - <i>Outliers</i> da faixa 5	125
Tabela 43 - <i>Outliers</i> da faixa 6	125
Tabela 44 - <i>Outliers</i> da faixa 7	125
Tabela 45 - Índice de descolamento para as faixas de degradação	132
Tabela 46 - Caracterização das fases de degradação através do FGD limite e V_D médio	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição do sistema de revestimento cerâmico	13
Quadro 2 - Parâmetros considerados em modelos de degradação	24
Quadro 3 - Mecanismos, agentes e propagação das anomalias de fachadas em argamassas. ...	28
Quadro 4 - Ficha de informações sobre a faixa 1	84

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AB	Aberturas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
CE	Cantos e Extremidades
DMM	Degradação, Modelação e Mensuração
DSM	Dense Stereo Matching
FD	Fator de danos
FDn	Fator de Danos para cada Anomalia
FGD	Fator Geral de Degradação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	International Organization for Standardization
L	Leste
LEM	Laboratório de Ensaios de Materiais
MMD	Método de mensuração da degradação
N	Norte
NBR	Norma Brasileira
O	Oeste
OAE	Obras de Arte Especiais
PC	Paredes Contínuas
PECC	Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil
RI	Importância Relativa
RML	Regressão Múltipla Linear
RMNL	Regressão Múltipla Não Linear
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
S	Sul
SC	Sacadas
TMY	Typical Meteorological Year
TO	Topo
TP	Transição de pavimentos
UnB	Universidade de Brasília

UR	Umidade relativa
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
VUP	Vida útil de projeto
WUFI	Wärme Und Feuchte Instationär

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização do tema.....	1
1.2	Motivação	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Objetivo geral	4
1.3.2	Objetivos específicos.....	4
1.4	Justificativa da Pesquisa	4
1.5	Originalidade do estudo.....	7
1.6	Estrutura da tese	7
2	DEGRADAÇÃO DE FACHADAS	9
2.1	Características e constituição das fachadas	9
2.1.1	Fachadas em revestimentos cerâmicos.....	10
2.2	DEGRADAÇÃO	14
2.3	Estudo dos principais agentes e mecanismos	15
2.4	Modelos de Degradação	20
2.5	Evolução da degradação	25
2.6	Mensuração da degradação	30
2.7	Aplicações do estudo da degradação	34
3	DIFERENCIAÇÃO EVOLUTIVA DA DEGRADAÇÃO.....	37
4	METODOLOGIA	48
4.1	Características climáticas da cidade de Brasília	53
4.1.1	Edifícios de estudo	58
4.1.2	Método de Mensuração da Degradação	59
4.2	Estudo Piloto.....	61
4.3	Divisão da base de dados em faixas de degradação.....	67
4.4	Cálculo de Indicadores de Degradação	68
4.5	Análise das características de degradação cada faixa.....	73
5	RESULTADOS.....	75
5.1	Divisão da base de dados em faixas	75
5.2	Análise da degradação dos edifícios da base de dados.....	84
5.3	Comportamento da degradação.....	87

5.3.1	Fator Geral de Degradação (FGD)	87
5.3.2	Velocidade de degradação (V_D)	88
5.4	Grupos de anomalias.....	93
5.5	Análise das características de degradação de cada faixa.....	97
5.5.1	Comportamento das amostras da faixa 1	97
5.5.2	Comportamento das amostras da faixa 2.....	99
5.5.3	Comportamento das amostras da faixa 3.....	102
5.5.4	Comportamento das amostras da faixa 4.....	104
5.5.5	Comportamento das amostras da faixa 5.....	106
5.5.6	Comportamento das amostras da faixa 6.....	108
5.5.7	Comportamento das amostras da faixa 7.....	110
5.5.8	Comportamento das amostras da faixa 8.....	112
5.5.9	Comportamento das amostras da faixa 9.....	113
5.5.10	Comportamento das amostras da faixa 10.....	115
5.5.11	Comportamento das amostras da faixa 11.....	117
5.5.12	Comportamento das amostras da faixa 12.....	119
5.6	Investigação dos <i>outliers</i>	122
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	127
6.1	Perfis de comportamento da degradação.....	127
6.2	Fases da Degradação	132
6.3	Aspectos em discussão.....	134
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
7.1	Conclusões.....	136
7.2	Propostas para pesquisas futuras	138
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
	APÊNDICE I.....	147

1 INTRODUÇÃO

A presente tese de doutorado discorre a respeito das características e tendências de comportamento da degradação ao longo do tempo e os seus impactos na vida útil e desempenho de revestimentos de fachadas em revestimento cerâmico. A análise da degradação se pauta pela identificação e quantificação considerando os agentes, os mecanismos e a taxa de velocidade, com enfoque em sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios residenciais situados na cidade de Brasília - DF, Brasil.

1.1 Contextualização do tema

As fachadas são elementos importantes do edifício e contribuem significativamente para o seu desempenho em serviço, influenciando ainda no conforto dos usuários. Além disso, tem influência na segurança e na estética de um edifício. Devido as fachadas estarem em contato direto com intempéries, como radiação solar, vento e chuva dirigida, seus elementos estão sujeitos ao processo de degradação. O estudo aprofundado do desempenho em serviço das fachadas é complexo devido à variabilidade do desempenho durante o ciclo de vida do edifício e ao grande número de fatores que o afetam, e muitos deles não são mensuráveis diretamente. Dentre essa quantidade de fatores destacam-se as decisões de projeto, processos construtivos e características dos materiais utilizados (Flores-Colen *et al.*, 2020).

Os revestimentos utilizados em fachadas constituem uma das barreira mais externas para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos, decorrentes principalmente de movimentações diferenciais. Dessa forma é um dos sistemas mais exposto à ação dos agentes de degradação, portanto mais sujeitos a ocorrência de anomalias. Os agentes de degradação, juntamente com os mecanismos, alteram de diversas formas e intensidades as propriedades dos materiais e dos elementos, a depender do grau de exposição (Souza *et al.*, 2022). A radiação solar, a temperatura, a chuva dirigida e o vento podem ser considerados como os principais agentes responsáveis pela degradação de revestimentos (Jernberg *et al.*, 2004; Cavalagli *et al.*, 2019; Duarte, 2020; Galvão 2020).

O processo de degradação é complexo, e uma das causas é devido à ação sinérgica entre os agentes de degradação que influenciam nos mecanismos de degradação. A ação dos agentes e mecanismos depende diretamente das características do projeto e da construção, em que a especificação de materiais e sistemas deve ser adequadamente definida para se alcançar o desempenho e a vida útil (Addessi *et al.*, 2020; Mota, 2021; Ferreira, 2021). A ocorrência da

degradação se inicia e se propaga de formas e intensidades diferentes dependendo diretamente do tipo de material utilizado no revestimento de fachadas. A compreensão das características inerentes ao processo de degradação e detalhes de como ela se inicia e sua evolução ao longo do tempo podem auxiliar os projetistas, proprietários e usuários a evitar anomalias nas fachadas e atuar de forma a minimizar os danos e consequências (Beasley, 2014; Carretero-Ayuso, 2021).

Atualmente existem estudos e pesquisas voltados para a investigação de patologias dos edifícios e de seus componentes. Apesar do desenvolvimento da área com enfoque em degradação e patologias, quantificar a degradação ainda é algo recente e requer estudos minuciosos com maior nível de detalhamento e especificação. Além da dificuldade de quantificar a degradação, há uma lacuna de estudos que façam a associação da degradação em fases e seus mecanismos distintos. Em fases iniciais se tem os mecanismos atuando no surgimento das anomalias, enquanto a fase mais avançada é definida como a evolução da anomalia, que pode ocorrer por causas diferentes da iniciação. Se tem ainda a aceleração da degradação, fase na qual as anomalias podem se sobrepor e atingir áreas maiores nas fachadas.

Flores-Colen (2009) em seus estudos evidencia aspectos relevantes para o desempenho de fachadas e destaca parâmetros de medição que devem ser adotados englobando desde inspeções visuais até ensaios laboratoriais que contribuem para a avaliação do desempenho. Os critérios apontados se traduzem em apoio à escolha de ações preditivas de manutenção, realizadas em função do maior ou menor potencial de risco que a fachada se encontra.

Silvestre e De Brito (2011) pontuam que as anomalias são consequência da de fachadas e seu surgimento não ocorre por apenas uma causa, mas sim por uma combinação de fatores. As principais causas estão relacionadas aos aspectos de especificação de materiais, qualidade de projeto e execução, e à exposição direta dos elementos de fachada aos agentes climáticos. A sensibilidade dos materiais empregados, a heterogeneidade construtiva, as diversas características arquitetônicas e a questão de trechos mais ou menos abrigados em relação aos agentes, são responsáveis por causar uma heterogeneidade da degradação ao longo das fachadas. A gama de fatores envolvidos ressalta a complexidade do processo evolutivo da degradação, evidenciando necessidade de estudos e atualizações constantes sobre a temática.

A norma de desempenho NBR 15575-1:2024 estabelece regras, a partir da fixação de um nível mínimo de desempenho a ser atendido pelos principais elementos de uma edificação e seus sistemas, buscando garantir conforto e segurança aos usuários. Ter um sistema de fachada capaz de garantir a vida útil e desempenho adequado para uso do usuário, assegura a manutenção dos recursos, evita o desperdício e o retrabalho na construção/manutenção, além

de garantir os requisitos de qualidade explicitados pela norma de desempenho NBR 15575-1:2024. As recomendações da normativa para a vida útil de projeto dos sistemas de vedação das edificações se enquadra no critério de sustentabilidade que aborda a durabilidade e manutenibilidade que inclui a própria vida útil.

Embora os estudos na área estejam se desenvolvendo e avançando consideravelmente, ainda existem pontos a serem explorados e explicados. Faltam referências que discorram sobre como a degradação acontece ao longo do tempo, qual o comportamento da sua velocidade e possíveis incrementos e quais são os fatores controladores do processo. Tendo em vista a identificação da lacuna de conhecimento na literatura científica, esse tema possui a importância de motivar a investigação de como ocorrem as diferentes fases da degradação em elementos de fachada com revestimentos cerâmicos aderidos. Ao compreender o comportamento da degradação em suas fases é possível propor ações de manutenção mais específicas e eficazes além de nortear sobre condições de uso e ocupação que possam contribuir para uma maior vida útil dos elementos. Além disso, com uma modelação da degradação mais detalhada é possível propor projetos com determinação da vida útil mais precisa.

1.2 Motivação

Apesar do desenvolvimento de diversos estudos sobre degradação, quantificar a degradação ainda é algo recente. São poucos os estudos que associam a degradação aos agentes e mecanismos direcionados para a distinção da iniciação, propagação e aceleração da degradação dos edifícios e seus componentes. Em termos práticos essa diferenciação pode ser observada na gravidade das anomalias e velocidade do processo de degradação. O conhecimento em relação a tais particularidades é de grande relevância para projetistas, proprietários e usuários das edificações.

O melhor entendimento da degradação, uma vez que a degradação não é uniforme ao longo do tempo, tanto pela velocidade da degradação como pela alteração dos mecanismos ao longo dos anos, aponta a necessidade de uma investigação do comportamento detalhado da degradação. O estudo da degradação em fases é necessário, uma vez que, os mecanismos responsáveis e atuantes ao longo do processo são distintos, e há um comportamento singular, como por exemplo nas anomalias e na forma que se manifestam nas fachadas. Além do mais, o comportamento relacionado à degradação de fachadas tende a ser específico de acordo com o tipo de revestimento usado, há necessidade de ampliar os estudos relacionados aos revestimentos cerâmicos, amplamente utilizados na cidade de Brasília - DF.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é investigar as características e tendências da evolução da degradação de fachadas com revestimento cerâmico em função de diferentes idades e orientações cardeais. Tal investigação é para definir os limites do processo de degradação bem como os seus fatores controladores, melhorando assim os modelos existentes de modo a se obter uma maior precisão na definição de vida útil.

1.3.2 Objetivos específicos

Consistem em objetivos específicos para a pesquisa:

- Identificar as características da ocorrência das fases iniciação, propagação e aceleração da degradação considerando as principais variáveis inerentes ao processo, tais como orientação, idade, grau de exposição e grupo de anomalias;
- Detectar quais as variáveis de estudo têm maior influência nas etapas de iniciação, propagação e aceleração da degradação para fachadas em revestimento cerâmico para auxiliar na proposição dos perfis de degradação para cada fase;
- Estudar a taxa de velocidade em que a degradação ocorre, identificando assim novas e mais precisas evidências de comportamento;
- Diferenciar a degradação pela sua evolução e comportamento das anomalias;
- Limitar as fases de degradação e elencar o que diferencia uma fase da outra ao longo do tempo;

1.4 Justificativa da Pesquisa

A pesquisa pertence à linha de pesquisa intitulada Degradação de Edifícios – Mensuração e Modelação da Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da UnB. O escopo da investigação visa contribuir com os estudos de degradação de fachadas com revestimento cerâmico aderido na cidade de Brasília - DF de modo a explicar através de métodos científicos o processo de degradação e os fatores ligados a fases distintas

de iniciação, propagação e aceleração. A base de dados do Projeto Degradação, Mensuração e Modelação (DMM) encontra-se consolidada com dados quantitativos de degradação em função das idades obtidos por inspeções de edifícios de Brasília - DF e já foi explorada por diversos pesquisadores (Silva, 2014; Souza, 2016; Souza, 2019; Piazzarollo, 2019; Bauer *et al.*, 2020; Mota, 2021; Silva 2022; Romeiro, 2022; Castro 2023) no que se refere a mensuração e modelação da degradação e previsão de vida útil. No entanto, ainda não foram exploradas todas as variáveis significativas que podem explicar a degradação dentro desta base de dados e nem seu comportamento distinto ao longo do tempo.

Diante da importância das fachadas para as edificações, é fundamental estudar o comportamento da degradação de fachadas ao longo do tempo e quais os fatores que exercem maior influência no processo evolutivo de degradação. O conhecimento sobre a degradação de fachadas pode servir como ferramenta eficaz para auxiliar na tomada de decisões sobre medidas que prolonguem a sua vida útil, como um planejamento periódico para realizar manutenções e fundamentais na própria elaboração de projetos. Nos últimos anos muitos trabalhos e pesquisas vem sendo desenvolvidos pelo grupo de pesquisa e integrantes do Projeto DMM, voltados para a degradação de fachadas de edifícios em Brasília - DF.

Contextualizando sobre as pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, Silva (2014) em seus estudos por meio da quantificação da degradação de fachadas com revestimento cerâmico, conclui que os agentes climáticos são capazes de influenciar a degradação e identifica a atuação simultânea entre os agentes como causas do processo de envelhecimento natural. Ainda em relação aos agentes de origem climática e com o emprego da simulação higrotérmica, Zanoni (2015) aponta que as fachadas sofrem influência das ações climáticas em diferentes níveis de intensidade e ciclos de frequência, e que de acordo com as propriedades higrotérmicas dos componentes e das variações sazonais dos agentes climáticos há influência no comportamento higrotérmico.

Souza no ano de 2016 através da investigação de fachadas com revestimento cerâmico, destaca em seu trabalho a influência da idade, orientação cardinal e dos elementos de arquitetura das fachadas. Sua pesquisa não só quantifica a degradação como também estuda a sua evolução com o tempo e qual a influência dos principais agentes no processo de degradação. No mesmo ano, Nascimento (2016) mensura a ação dos agentes climáticos de degradação de fachadas em uma amostra de seis edifícios localizados na cidade de Brasília, conseguindo observar também a influência dos agentes climáticos na degradação das fachadas.

Em continuidade aos trabalhos desenvolvidos sobre degradação, Santos (2017) apresenta uma metodologia de catalogação das patologias que mais ocorrem nas edificações do

Distrito Federal, com foco no revestimento cerâmico, identificando as tipologias mais comuns, discutindo causas primárias e secundárias destas patologias. Ainda sobre patologias, Santos (2018) propõe um modelo de degradação que permite estimar a vida útil nos sistemas de revestimentos em argamassa nas fachadas de edifício, ponderando a importância relativa de patologias.

Também com foco em revestimento cerâmico, Piazzarollo (2019), investiga a evolução e a gravidade da degradação em seis zonas da fachada e faz correlação à orientação, tipo de elemento construtivo e idade das edificações. O estudo constata que as zonas da fachada se degradam de forma distinta variando a sua intensidade principalmente com a idade. No mesmo ano Souza (2019) propõe modelos de estimativa de vida útil capazes de ponderar sobre a influência dos fatores condicionantes de degradação de revestimentos cerâmicos de fachadas.

Abordando a iniciação e a propagação de degradação, Mota em 2021 estuda edifícios com revestimento em argamassa nas diferentes zonas e orientações, identificando os mecanismos que atuam no surgimento e na propagação das anomalias. Aponta em seu estudo que a fissura é a anomalia que mais degrada os revestimentos em argamassa. Paredes contínuas é a zona com maior incidência de degradação e o topo da fachada é a zona onde ocorre a maior gravidade de degradação.

Em 2022, Andrade emprega a simulação higrotérmica e discute a modelação da degradação de fachadas com revestimento cerâmico, a partir de ferramentas estatísticas, utilizando os índices ponderados resultantes da simulação higrotérmica com a idade da fachada e seu respectivo indicador de degradação. O estudo permite constatar que a idade é uma variável significativa na análise e que os mecanismos de degradação do revestimento cerâmico são influenciados pelos parâmetros relacionados a temperatura e a umidade.

Expandindo as pesquisas relacionadas à base de dados do Projeto DMM, no ano de 2023 Silva, estuda sobre a variabilidade da degradação em fachadas com revestimento cerâmico, com objetivo de investigar como se apresenta, a sua quantificação e quais os fatores responsáveis. O estudo evidencia que a degradação é ocasionada por inúmeros fatores, como idade e a posição do andar no plano da fachada. É possível constatar ainda que existe diferença da degradação entre os pavimentos da edificação, principalmente em relação ao topo, andar que apresenta maior número de anomalias.

Neste contexto e diante das pesquisas mencionadas, em relação aos modelos de degradação e o detalhamento de ocorrência do processo, existe uma limitação nos estudos realizados. Embora a degradação seja verificada em um determinado momento com base em inspeções, ela não é instantânea. A evolução da degradação é notória ao longo do tempo e pode

ser observada inclusive através de modelos de degradação como os propostos por Silvestre (2005), Gaspar e Brito (2008), Piazzarollo (2019), Souza (2019) e Andrade (2022).

1.5 Originalidade do estudo

Considerando as abordagens já existentes, o foco original do estudo é a busca por identificar padrões de comportamento em diferentes momentos e condições de degradação do edifício. Além disso, analisar de forma quantitativa como os agentes, mecanismos e anomalias existentes e as relações sinérgicas que ocorrem entre eles impactam o processo de degradação. A investigação utiliza como indicador de degradação a taxa de velocidade de degradação que ajuda a balizar o comportamento da degradação. O estudo diferencia os níveis de degradação pontuando a taxa de velocidade característica de cada uma.

Embora o estudo apresente condições particulares referentes à base de dados, devido ao clima, exposição, tipologia construtiva e materiais empregados, as análises podem ser replicadas em outras regiões desde que se façam as devidas considerações e ajustes. Reitera-se que estudos envolvendo bases de dados tem como repostas, investigações relacionadas a fatores inerentes e particulares da base e por isso, não devem ser generalizadas para condições distintas.

1.6 Estrutura da tese

A tese é estruturada em oito capítulos conforme descrito na sequência. O primeiro capítulo é relativo à introdução e contextualização da pesquisa. Inclui-se neste capítulo a motivação da pesquisa, os objetivos, a justificativa, bem como a estruturação e organização do texto. O capítulo 1 destina-se a contextualização do assunto abordado, bem como designar os objetivos propostos e a organização do trabalho. A relevância do estudo da durabilidade das construções está contida na motivação e a justificativa do tema apresentado nesse capítulo.

No capítulo 2 é apresentada uma fundamentação teórica que discorre sobre a degradação de fachadas. O item define fachadas e apresenta sua constituição para sistemas de revestimento cerâmico e aprofunda sobre como ocorre o processo de degradação das fachadas, bem como a vida útil do sistema e seus modelos. Dentro do processo complexo de degradação, são abordados os agentes e mecanismos envolvidos e a relação sinérgica que pode ocorrer entre eles.

No capítulo 3 é apresentada a diferenciação evolutiva da degradação englobando as diferentes fases observadas no processo de degradação de diferentes materiais e sistemas utilizados na construção civil, como concreto armado, revestimento em argamassa e revestimento cerâmico. São pontuadas ainda as características observadas em cada fase dos materiais e sistemas e quais os fatores limitantes para cada uma delas.

O capítulo 4 aborda a mensuração da degradação. O foco está na importância de mensurar e quantificar a degradação e formas que existem para tal. O capítulo apresenta as abordagens existentes e quais as formas de modelação utilizadas nos últimos anos de estudos na temática. O capítulo 5 destaca as aplicações importantes possíveis e necessárias através da aplicação do estudo da degradação e sua mensuração.

No capítulo 6 é apresentada a metodologia aplicada para alcançar os objetivos propostos. Apresenta-se aspectos relacionados à critérios para uma base de dados e suas particularidades como características de exposição, obtenção das amostras e a quantificação da degradação. Aborda a segmentação das amostras da base de dados em faixas e o cálculo dos indicadores de degradação, inclusive, propõe o índice que mensura a velocidade de degradação. Apresenta também pontuações sobre as anomalias primárias e secundárias, com foco na diferenciação das fases da degradação, e como as anomalias se relacionam no processo evolutivo da degradação.

O capítulo 7 explora os resultados envolvendo as 12 faixas de estudo, analisadas por meio dos indicadores de degradação comprovando as diferenças entre as fases e considerando as particularidades de cada uma delas. A diferenciação do comportamento da degradação também é discutida através das anomalias primárias e secundárias.

No capítulo 8 são apresentadas as discussões dos resultados obtidos no estudo. E por fim, no capítulo 9 são apresentadas as considerações finais obtidas por meio da pesquisa. Este capítulo, não só apresenta as conclusões da tese, como também elenca algumas propostas para pesquisas futuras na mesma área temática. A finalização do texto conta com a lista de referências utilizadas para a elaboração do estudo e do texto da tese, bem como um item dedicado aos apêndices julgados relevantes para leitura e compreensão do trabalho.

2 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS

2.1 Características e constituição das fachadas

Uma das importantes funções do sistema de fachadas é a proteção dos ambientes internos do clima exterior, protegendo a edificação contra agentes externos, tais como radiação, chuva e temperatura. Não apenas atuante na proteção do edifício contra as intempéries, as fachadas duráveis são uma necessidade na construção de edifícios, visando garantir a estética da edificação e contribuir para a sua valorização, além de proporcionar segurança e conforto aos usuários.

O sistema de envoltória tem como função proteger o edifício e suas partes de ações externas que possam prejudicar ou comprometer o seu desempenho. As ações externas mais recorrentes estão relacionadas ao local e sua exposição, podendo-se pontuar por exemplos, a ação das intempéries. O processo de degradação presente em sistemas de revestimentos de fachadas ocorre naturalmente ao longo dos anos e, na maioria dos casos, pode ser potencializada e acelerada devido a exposição às intempéries e à não realização de manutenções periódicas por parte do usuário (Madureira *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2018).

Os revestimentos de fachadas, independentemente do tipo e material, estão sujeitos a várias solicitações que influenciam diretamente na sua durabilidade, como por exemplo ação do vento, chuva dirigida, radiação solar, cargas, condições de uso, clima interno, entre outros (Freitas *et al.*, 2013; Mota, 2021). A Figura 1 apresenta de forma esquematizada as principais solicitações que podem ocorrer no sistema de vedação vertical, tanto no ambiente externo como interno. Externamente é bastante recorrente a ação de agentes naturais como a luz e calor, chuva, vento, emissões gasosas e vibração, além de processos biológicos comuns na superfície. Por serem externos é importante observar que são variáveis de uma localidade para outra. Independentemente do tipo de solo há ainda presença de umidade, e algumas questões relacionadas ao próprio uso do ambiente que podem ocasionar em ventilação, umidade e temperaturas também variáveis. Importante observar ainda as cargas presentes e atuantes que podem ser de origem estática ou dinâmica. Com o uso e o passar dos anos todas as solicitações, agindo em conjunto na maioria das vezes, são responsáveis por influenciar na vida útil do sistema (Freitas *et al.*, 2013; Pérez-Bella *et al.*, 2017).

Figura 1 - Solicitações em sistema de vedação vertical

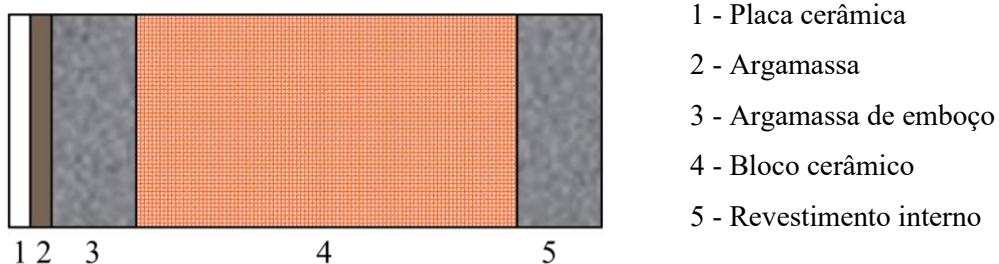


Fonte: Kazmierczak *et al.*, (2016).

2.1.1 Fachadas em revestimentos cerâmicos

As fachadas podem ser constituídas por substrato em alvenaria ou estrutura de concreto, camadas de argamassa e revestimento final, sendo argamassa e acabamento cerâmico os tipos de revestimento finais mais empregados na cidade de Brasília. Na Figura 2 é mostrada a seção transversal esquematizando uma fachada com revestimento cerâmico aderido. A extremidade esquerda da figura representa a região em contato com o ambiente externo, enquanto a extremidade direita faz representação do ambiente interno de uma edificação. Nas representações esquemáticas considera-se vedação em bloco cerâmico.

Figura 2 - Esquema de vedação com acabamento em placa cerâmica



Para as placas cerâmicas amplamente utilizadas como revestimento em, existem normas específicas que determinam amostragem e critérios de aceitação como a ABNT NBR ISO 13006:2020 e a ABNT NBR ISO 10545:2017. A ABNT ISO 13006:2020 apresenta definições e classifica as placas pelo método de fabricação e absorção de água. Na Tabela 1 podem ser visualizados os principais itens avaliados pelo escopo da NBR ISO 10545:2017.

Tabela 1 - Critérios de avaliação para as placas cerâmicas

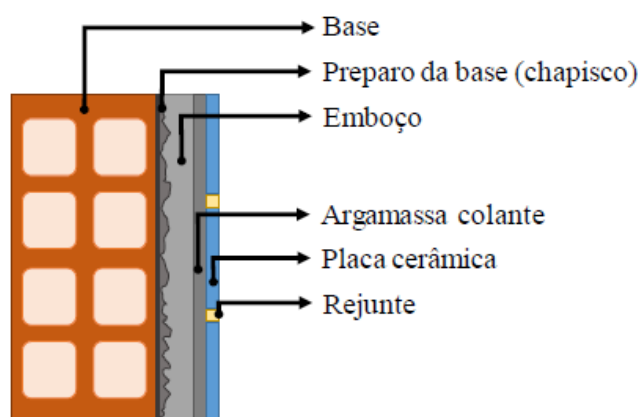
Norma	Característica	Itens avaliados
NBR ISO 10545	Dimensões e qualidade superficial	Comprimento e largura, espessura, retitude dos lados, ortogonalidade, planaridade da superfície, qualidade superficial e garra cônica.
	Propriedades físicas	Absorção de água, carga de ruptura, módulo de resistência à flexão, resistência à abrasão profunda e superficial, expansão térmica linear, resistência ao choque térmico, resistência ao gretamento e gelo, expansão por umidade, pequenas diferenças de cor e resistência ao impacto.
	Propriedades químicas	Resistência ao manchamento, resistência à ácidos e álcalis de baixa e alta concentração, resistência aos produtos domésticos de limpeza e sais de piscina e emissão de cádmio e chumbo.

As camadas constituintes do sistema de revestimento, possuem propriedades diferentes de acordo com suas tipologias e especificações, se comportando de maneira única diante das tensões que são impostas (Fiorito, 2009). Em função das propriedades dos materiais que compõem as camadas sobrepostas do sistema de revestimento, há diferenças em relação a suscetibilidade a ação de alguns mecanismos de degradação. Em consequência, as anomalias também se diferenciam em tipos e gravidade em cada revestimento.

Logo ao entrar em serviço, os revestimentos iniciam o processo de deterioração até deixarem de cumprir níveis mínimos de desempenho exigidos. São diversos os mecanismos e fatores que acarretam aparecimento de anomalias em sistemas de revestimento de fachada, responsáveis por desencadear queda na funcionalidade. A atuação de mecanismos e fatores de degradação ocorre de forma singular nos tipos de materiais que são utilizados em revestimentos de fachadas, tornando também específicas as anomalias identificadas. É importante considerar que a queda de desempenho é gradual ao longo do tempo, bem como também ocorre com a evolução das anomalias resultantes no processo de degradação.

Nos revestimentos as anomalias podem ser causadas devido a aspectos relacionados a especificação de materiais, qualidade de projeto e execução, e em decorrência do processo de degradação (Sousa *et al.*, 2016; Nadoushani *et al.*, 2017). O sistema de revestimento cerâmico de fachadas é composto por um conjunto de camadas que estão aderidas à base da fachada que normalmente é de concreto ou alvenaria, conforme ilustrado na Figura 3. As principais camadas são emboço, argamassa colante, placa cerâmica e rejunte e selante (NBR 13755:2017). Por ser descontínuo e heterogêneo em função da variabilidade dos materiais componentes, o sistema apresenta propriedades variáveis, que podem impactar no surgimento de anomalias. Uma deformação em uma única camada do sistema de revestimento cerâmico pode resultar em esforços em todo o conjunto, variando de acordo com as suas características e dos materiais empregados.

Figura 3 - Esquema de camadas encontradas no sistema de revestimento cerâmico



Fonte: Antunes, 2010.

O revestimento cerâmico está sujeito a deformações devido às ações de agentes climáticos e, em virtude das variações de temperatura e umidade e da carga estrutural. Na presença de água, ocorre expansão, que pode ocasionar o aumento das dimensões do sistema construtivo, ou de uma ou mais de suas camadas (Nastri, 2015; Rodrigues, 2015; Vaz; Carasek, 2019). A escolha adequada de materiais e a instalação correta das camadas do sistema são essenciais para garantir que o sistema seja capaz de acomodar deformações sem comprometer a integridade da fachada. Cada camada do revestimento cerâmico contribui para o desempenho do sistema, desde as características próprias do material empregado em cada camada, bem como as técnicas construtivas empregadas na execução (Saraiva, 1998; Fiorito, 2009; Lucenas; Bauer, 2020; Mota; Bauer, 2020).

No Quadro 1 a seguir, é possível observar a composição e as principais funções dos elementos componentes do sistema de revestimento cerâmico. A atuação e desempenho do sistema como um todo, depende de cada uma de suas camadas ou elementos.

Quadro 1 - Composição do sistema de revestimento cerâmico

Elemento do sistema	Composição	Função
Base ou substrato	Constituído por superfície plana de parede. Podem ser de concreto armado ou alvenaria de blocos cerâmicos, de blocos de concreto, blocos de concreto celular ou blocos sílico-calcários.	Depende da sua função na estrutura: vedação ou estrutural. É a camada responsável por receber o revestimento de argamassa.
Chapisco	Argamassa de cimento, areia e água.	Uniformizar a superfície da base quanto à absorção de água e melhorar a aderência do revestimento.
Emboço	Mistura homogênea de agregados miúdos, ligantes e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.	Cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, corrigindo defeitos e irregularidades, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo.
Argamassa colante	Mistura constituída de ligantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos, que possibilita com adição de água, a formação de uma massa viscosa, plástica e aderente.	Confere aderência às placas cerâmicas junto à camada que lhe serve de base.
Acabamento decorativo	Placa cerâmica e argamassa de rejunte.	Contribui para a definição estética do edifício e confere propriedades para a fachada, como resistência à penetração de água, isolamento, limpabilidade, etc.
Rejunte	Argamassa, nata de cimento, resina epóxi ou qualquer outro especificado para devido fim.	Composto destinado a preencher as juntas de assentamento de placas cerâmicas.

O desempenho da fachada é reflexo de todos os procedimentos e detalhamentos de cada camada do sistema de vedação e pode ser afetado quando a especificação ou a execução é realizada de forma errônea. Em casos de aberturas no sistema de vedação pode ocorrer o ingresso de água no sistema de revestimento de forma a comprometer a função de proteção contra agentes deletérios e facilitar a incidência de anomalias (Chai *et al.*, 2015; Galbusera *et al.*, 2015). O ingresso de água, em situações de maior gravidade podem atingir ambientes internos, prejudicando o desempenho funcional e também o conforto do usuário (Souza, 2019).

2.2 DEGRADAÇÃO

A degradação é um processo pelo qual uma ação sobre um sistema construtivo causa deterioração de um ou mais componentes, sendo possível indicar os agentes e mecanismos que ocasionam as anomalias mais ocorrentes (Bauer e Souza, 2022). Os edifícios em serviço encontram-se sujeitos a diversos agentes de degradação, conduzindo a diferentes níveis de degradação. De maneira geral, o processo de degradação é decorrente do próprio envelhecimento dos seus elementos constituintes. Além destes, é possível pontuar os agentes de degradação e as anomalias que pode evoluir até uma ruptura funcional ou física afetando o desempenho (Flores-Colen, 2009; Nascimento *et al.*, 2016).

A degradação é definida pela ISO 15686-8:2008 como o processo inerente à ação de um agente de degradação ou um conjunto deles, capaz de provocar mudanças nas propriedades de um material, sistema ou componente. As mudanças nas propriedades podem ser afetadas negativamente de forma física, mecânica ou elétrica, causando perda de funcionalidade dos componentes e materiais do edifício e, conseqüentemente, provocando redução da vida útil (BS ISO 15686-8, 2008; Santos, 2018). Os agentes de degradação podem afetar a fachada de diversas formas, como por meio da a infiltração de água, ação da radiação, variação térmica, entre outros fatores. Os agentes ativam mecanismos de degradação específicos, o que pode interferir nas propriedades do revestimento, causando alterações que afetam sua aderência, integridade e aparência, se manifestando na forma de anomalias ou defeitos (Bauer, Souza e Mota, 2021).

A degradação, frequentemente, é o resultado de processos naturais provocando mudanças físicas, químicas e mecânicas dos sistemas e uso da edificação (Souza, 2019). A degradação de sistemas e elementos construtivos, inclusive fachadas, pode ser influenciada por diversos fatores como velocidade de degradação ao longo do tempo, sensibilidade do elemento do edifício em relação ao agente de degradação e quantidade de agentes atuantes. Ainda sobre

os agentes, é possível pontuar a influência da sua acumulação, efeito de limpeza ou sua não realização e aos fatores relacionados à localização e microclima. Outro ponto relevante ao estudar degradação é a influência da reparação, que é uma ação não prevista em projeto capaz de reestabelecer total ou parcialmente as características do elemento (Flores-Colen, 2009).

Em algumas situações específicas pode-se constatar uma degradação precoce. A degradação precoce tem sua ocorrência associada a elevadas velocidades de degradação, com grande sensibilidade do elemento do edifício e/ou a existência de elevada quantidade de agente de degradação (Flores-Colen, 2009). Diante de tal possibilidade, é interessante identificar as situações que originam esse tipo de degradação para vários elementos do edifício, buscando justificativas para a situação.

2.3 Estudo dos principais agentes e mecanismos

Mecanismo de degradação pode ser definido como uma sequência de modificações físicas e/ou químicas que levam a alterações prejudiciais em uma ou mais propriedades de um elemento ou material quando exposto a um ou mais fatores de degradação (ASTM E-632, 1996). Os mecanismos de degradação, representam a reação dos componentes de um edifício sob a ação dos agentes responsáveis pela degradação. Os agentes de degradação com maior relevância no processo, são os de origem climática como radiação solar e chuva dirigida.

Por meio dos mecanismos é possível se explicar as alterações químicas, físicas, biológicas e mecânicas dos componentes que exercem influência direta nas alterações de propriedades e características, resultando em perda de funcionalidade. Um mecanismo pode envolver mais de uma alteração de propriedade ou mais de um agente de degradação, o que aumenta a sua complexidade e dificuldade sua identificação (Flores-Colen, 2009; Santos, 2018). Os mecanismos de degradação são capazes de sofrer alteração com o passar do tempo e agir de forma sinérgica, se combinando e atuando de diferentes formas, associadas ou não, simultâneas ou sequenciais (Zanoni, 2015). A sinergia dos mecanismos é considerada um fator responsável por aumento de gravidade e propagação da degradação (Bauer, Souza, Mota, 2021). Um exemplo de sinergia entre mecanismos que pode ser apontado é em uma molhagem não uniforme do revestimento e ao mesmo tempo desenvolvimento de microrganismos biológicos que podem causar o aparecimento de manchas (Mota, 2021). É possível exemplificar também a sinergia através de um mecanismo que causa fissuração, através da fissuração acontece o ingresso de água que incrementa por exemplo, os descolamentos.

A intensidade dos agentes de degradação com origem climática tem dependência relacionada com as variações do clima e com o grau de exposição da fachada (DTU -20, 2008; ASHRAE 160, 2009; Souza *et al.*, 2024). Os mecanismos estão presentes e são ativados pelos agentes em intensidade e velocidade característica ao sistema. Além disso, esses mecanismos podem ser influenciados pelo projeto, propriedades dos elementos e materiais utilizados, técnicas construtivas e fatores atenuantes ou agravantes aos quais determinada fachada pode estar exposta. Dentre os diversos fatores condicionantes de degradação, destaca-se como os mais relevantes neste processo o grau de proteção e orientação das fachadas. Desta forma, a localização geográfica e a envoltória, bem como o microclima se tornam fatores agravantes ou atenuantes dos mecanismos de degradação.

Diante do exposto, conhecer de forma profunda e compreender todos os pormenores envolvidos aos mecanismos, é etapa essencial para estudo e entendimento do processo de degradação. Sendo assim, é necessário correlacionar os agentes e mecanismos envolvidos na degradação dos elementos de fachada de forma a identificar quais apresentam maior peso e relevância para cada nível de degradação.

Os aspectos relacionados à degradação das fachadas são processos complexos, principalmente pelo grande número de agentes e fatores envolvidos (Shohet *et al.*, 1999). Em função da elevada e contínua exposição à ação dos agentes de degradação, os revestimentos das fachadas são mais suscetíveis à ocorrência de anomalias, ocorrendo assim a redução de seu desempenho. A degradação, além de depender das condições de exposição, também depende do nível de qualidade de projeto, manutenções e características do edifício, de forma que a mesma contribui para a diminuição da vida útil (Dias *et al.*, 2014). Determinados materiais podem ser resistentes a certos tipos de agentes, e estarem inseridos em meios onde recebem outras ações não previstas inicialmente que o degradam. Opções de projeto e técnicas construtivas são os principais definidores dos mecanismos atuantes sobre os sistemas e componentes dos edifícios.

A evolução das anomalias e da degradação depende principalmente de três fatores: ação, duração da ação e sensibilidade à ação (Bauer, 2016). Em relação à ação, é essencial conhecer quais são os agentes e mecanismos responsáveis pela degradação, que podem ser dentre outros, mecânicos e térmicos (ISO 15686-2:2012). No que diz respeito à duração da ação, pode ser do tipo permanente como o peso próprio; cíclica como deformações térmicas, umidificação e secagem ou ações do usuário; ou do tipo pontual quando se tem cargas acidentais. A sensibilidade à ação da degradação está relacionada ao modo como os mecanismos têm origem pela ação dos agentes.

Os agentes de degradação são fatores externos que afetam adversamente o desempenho dos materiais e componentes dos edifícios, incluindo fatores climáticos, biológicos, mecânicos, incompatibilidades e fatores de uso (ASTM E632, 1996; ISO 15686-2, 2012). A atuação desses agentes pode ser de forma isolada, quando há apenas um agente atuando, ou conjunta, quando ocorrem dois ou mais agentes simultaneamente, sendo a última situação mais complexa e recorrente (Zanoni, 2015). A associação dos agentes chuva e vento, por exemplo, resultam na chuva dirigida. Tal associação é capaz de fazer com que a incidência de chuva seja característica em cada orientação de fachada, já que cada orientação proporciona um microclima específico.

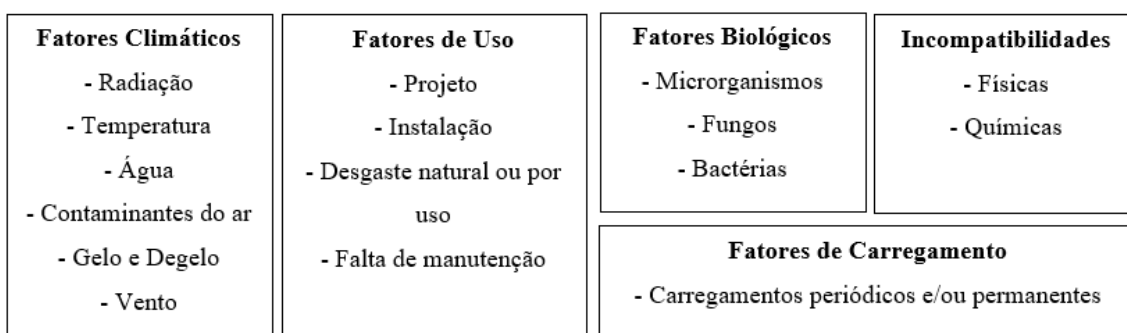
Os agentes de degradação podem ser classificados conforme a sua natureza e procedência. Na Figura 4 estão separadas as cinco classes de agentes em função da sua natureza, que se dividem em: mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos. Posteriormente, na Figura 5, está apresentada a procedência dos agentes.

Figura 4 - Natureza dos agentes de degradação



Fonte: ISO 15686-2:2012 (adaptado).

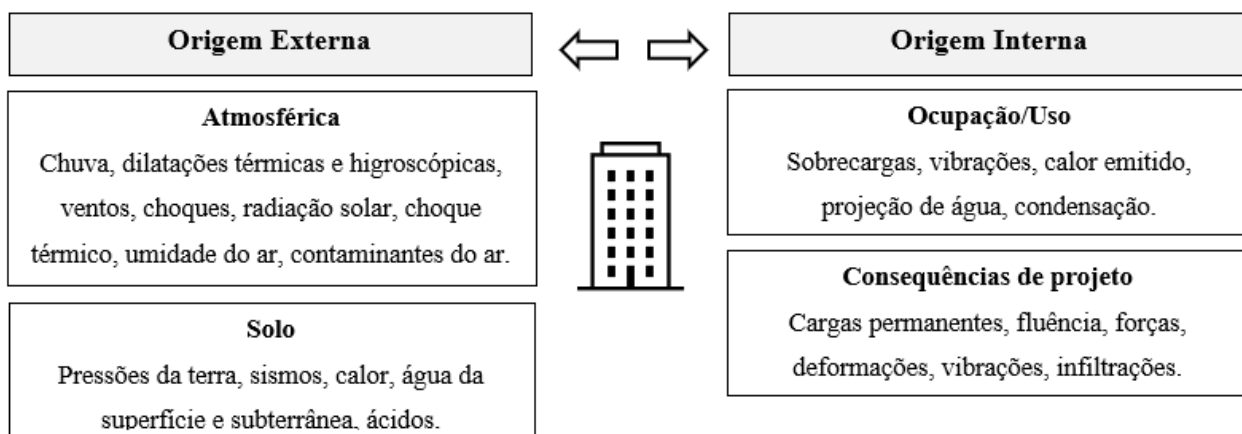
Figura 5 - Procedência dos agentes



Fonte: ASTM E632:1996 (adaptado).

Outra relevante classificação dos agentes é feita quanto à origem. A sua origem pode ser exterior ou interior ao edifício, como apresentado na Figura 6. Em geral, os agentes de origem externa ao edifício são oriundos da atmosfera ou o solo, enquanto os agentes de origem interna ao edifício estão relacionados ao projeto ou ao uso e ocupação do próprio edifício.

Figura 6 - Agentes de degradação segundo a sua origem



Fonte: ISO 15686-1:2011.

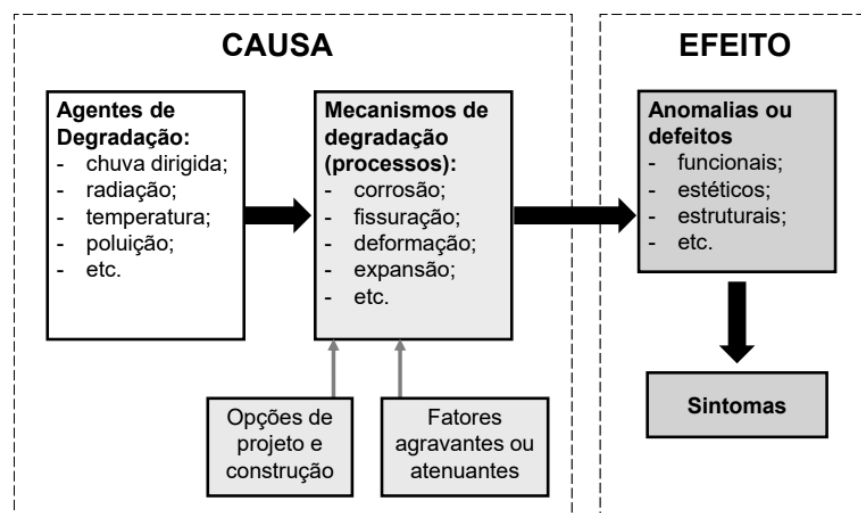
Os fatores climáticos apresentam maior relevância nos estudos de degradação. De acordo com a ASTM E-632, 1996 e com a ISO 15686-2:2012, os mais comuns são a radiação solar, a precipitação, a temperatura, o vento e os poluentes presentes no ar. A configuração de tais fatores climáticos varia em função da localização geográfica, da presença de vegetação densa e do nível de urbanização que influencia na poluição do ar, além de depender da topografia (Carnicero *et al.*, 2013; Mota, 2021). Em relação a investigação que engloba fatores climáticos é usual considerar três diferentes escalas climáticas: macroclima, mesoclima e microclima (Jernberg *et al.*, 2004). Para fins de estudo da degradação de fachadas é necessário reduzir a escala de estudo a fim de relacionar a fachada com seu entorno utilizando dados do microclima o qual conduz os processos de degradação (Silva, 2014).

A intensidade dos agentes de degradação tem dependência relacionada com as variações climáticas, enquanto os mecanismos dependem do grau de exposição da fachada aos agentes de degradação e das características e propriedades dos elementos e materiais utilizados. Além disso, podem ser influenciados pelo projeto, técnicas construtivas e fatores atenuantes ou agravantes aos quais determinada fachada pode estar exposta. Dentre os diversos fatores condicionantes de degradação, destaca-se como os mais relevantes neste processo o grau de proteção e orientação das fachadas. Desta forma, a localização geográfica e as condições de

contorno do edifício, bem como o microclima se tornam fatores agravantes ou atenuantes dos mecanismos de degradação.

A seleção de materiais e sistemas construtivos, assim como do método de construção ou outras opções gerais de projeto e execução também podem ser determinantes para os mecanismos de degradação. Já as anomalias, consideradas uma resposta do edifício à ação dos mecanismos, ocorrem relacionadas às características dos materiais e se evidenciam através de sintomas nas fachadas (Mota, 2021). Na Figura 7 é possível observar a relação de causa e efeito entre agentes, mecanismos de degradação e a ocorrência de anomalias nas fachadas. O processo da degradação se diferencia ao longo do tempo em função da ação de fatores que a depender da situação são agravantes ou atenuantes. Destaca-se ainda que tais fatores não são iguais quando se compara o início da degradação com suas fases mais avançadas. Com base na própria orientação da fachada se tem uma variação na associação agente e mecanismo que reflete em diferenças no processo evolutivo da degradação. O grau de proteção que determinada fachada apresenta contribui para maior ou menor incidência de agentes climáticos, o que reflete diretamente na degradação dos revestimentos (Souza, *et al.*, 2024).

Figura 7 - Agentes de degradação, mecanismos de degradação e anomalias



Fonte: Cóias, 2009 (adaptado).

As anomalias presentes nas fachadas são, muitas vezes, resultado do não atendimento dos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos pelas normas nacionais e/ou internacionais vigentes, mas também podem ser manifestações diretas dos processos de degradação (Souza, 2016). As anomalias de fachada decorrem da ação dos agentes de degradação, os quais, por mecanismos específicos, levam

à degradação ou queda de desempenho após um período de tempo (Mota, 2021). Nas idades iniciais, até por volta de 10 anos, o que se tem na maioria das vezes são patologias e não anomalias. Tal observação se deve ao fato de que para o surgimento de uma anomalia é necessária atuação de agentes na ativação de mecanismos por um intervalo de tempo superior.

As anomalias ou defeitos podem ser classificados como funcionais, estéticos ou estruturais, de acordo com o desempenho afetado. Diversos autores buscam estudar as principais anomalias de fachadas com revestimento cerâmico. Em pesquisas com edifícios de Brasília-DF, de até 63 anos, destacam quatro grupos relevantes de anomalias: descolamento cerâmico, fissuração, falhas nas juntas e manchas (Silva, 2014; Souza, 2019; Bauer; Souza; Piazzarollo, 2020).

2.4 Modelos de Degradação

Para que seja possível prever a vida útil de sistemas construtivos é preciso definir o problema, que na maioria das vezes se manifesta na forma de anomalias, com base nos seus materiais e características, bem como se pautar em condições ambientais que se relacionam com possíveis agentes e mecanismos de degradação. Após levantamento dos dados pertinentes, as informações são então utilizadas na elaboração de modelos de degradação para estimar a vida útil do sistema ou material. Cabe destacar que para utilizar um modelo é preciso quantificar primeiro a degradação. Atualmente existem métodos distintos para quantificar a de degradação, sendo possível pontuar o MMD e também métodos desenvolvidos por Silvestre (2002) e Galbusera (2019).

A vida útil dos materiais e componentes do edifício está associada a uma grande variabilidade dos processos de degradação, e a uma elevada quantidade de variáveis relacionadas ao ciclo de vida dos edifícios, que envolvem fenômenos de degradação complexos devido a sinergia que existe (Hovde, 2004). Diante da complexidade do processo e dos diversos fatores envolvidos não é possível prever a vida útil com precisão. Por este motivo, para a fase de análise de dados, existem diferentes abordagens para a modelação da previsão da vida útil (Madrigal *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2012; Kazmierczak *et al.*, 2016).

É possível utilizar as técnicas de regressão para descrever a relação entre variáveis ou para ajustar uma equação matemática aos dados disponíveis. Ou seja, pode-se explicar uma realidade, tentando prever o comportamento de uma variável dependente com base no conhecimento de uma ou mais variáveis independentes. A Tabela 2 traz as opções de análises de regressão para elaboração de modelos. (De Brito, Gaspar, 2016).

Tabela 2 - Tipos de regressão e suas aplicações

Regressão	Aplicação
Regressão simples (linear ou não linear)	Gerar modelos baseados em curvas de degradação, que expressam a perda de desempenho dos elementos construtivos ao longo do tempo.
Regressão linear múltipla	Os conceitos teóricos associados a esta ferramenta são aplicados à previsão da vida útil dos revestimentos de fachadas, avaliando as variáveis mais significativas para a descrição da degradação dos revestimentos analisados. Nesta metodologia é possível analisar as relações causais entre as variáveis e as suas implicações nas estimativas de vida útil dos revestimentos.
Regressão não linear múltipla	Aplicação de vários modelos não lineares à previsão da vida útil de revestimentos.

Para cada situação e necessidade deve ser escolhida a melhor abordagem, considerando suas vantagens e limitações. Os principais métodos utilizados para a estimativa da vida útil são divididos em determinísticos, probabilísticos e de engenharia (Lacasse *et al.*, 2004; Jerberg *et al.* 2004; Branco *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2016). A norma ISO 15686-1 (2011) recomenda ainda que seja realizado mais de uma forma de estimação de vida útil e haja comparação entre eles, devido a possível imprecisão de alguns métodos (Rudbeck, 1999; Silva, 2015).

O método determinístico é demasiadamente simplista na modelação da realidade, entretanto, tem a vantagem de ser facilmente implementado, sendo capaz de ultrapassar lacunas existentes na informação disponível (De Brito *et al.*, 2013). Ele parte de constatações mais simples tais como a área degradada e diferenciação dos elementos de fachada. Os métodos determinísticos são mais simples, de fácil compreensão e aplicação, além de consumir menos tempo. Os métodos determinísticos são fundamentados pelos fatores de degradação e seus mecanismos e resultam em uma função que permite estimar a vida útil. Exemplos de métodos determinísticos são método regressão simples e múltipla, linear e não linear e método fatorial determinístico (Shohet e Paciuk, 2004; Gaspar e De Brito, 2008; Souza, 2019). A vida útil, neste caso, é estimada empregando um procedimento gráfico e uma análise estatística da evolução da degradação ao longo do tempo. A evolução da degradação, em geral, é apresentada sob a forma de curvas de degradação, que podem ser associadas a mecanismos específicos de degradação (Shohet *et al.*, 1999; Branco *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2016). São exemplos de métodos determinísticos as análises de regressão simples e múltipla, linear ou não linear.

Os métodos probabilísticos permitem enriquecer as previsões obtidas, associando a cada nível de degradação uma probabilidade de ocorrência para uma determinada idade do componente (Branco *et al.*, 2013). Neste método, são utilizados procedimentos estatísticos complexos, que dependem, principalmente, da quantidade de dados disponíveis. Por meio desta abordagem, pode-se utilizar regressão logística, Cadeias de Markov e até mesmo incluir nos modelos de previsão da vida útil noções de risco e incerteza, fornecendo uma visão probabilística dos fenômenos de degradação (De Brito *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2015). Nesse método, a degradação passa a ser considerada como um processo estocástico, que é descrito por um conjunto de variáveis aleatórias que definem parâmetros probabilísticos que afetam a curva de degradação média, onde a probabilidade de degradação é definida para cada propriedade durante um intervalo de tempo (Pinheiro, 2013; Silva *et al.*, 2016). Por incluir na estimativa da vida útil um intervalo de possíveis valores de probabilidade de ocorrência de degradação, o modelo permite descrever, ao longo do tempo, a evolução da degradação com as suas respectivas incertezas. Ressalta-se que aplicar métodos e modelos em uma base de dados de uma localidade diferente daquela para qual foram elaborados pode-se induzir valores divergentes da realidade.

Os métodos de engenharia contemplam combinação dos métodos determinísticos e probabilísticos, assim conservando a simplicidade dos métodos determinísticos e eficácia dos métodos probabilísticos e reduzindo a quantidade de informação necessária para a aplicação do método. Neste modelo, para a previsão da vida útil, dados estatísticos são introduzidos na definição dos fatores de degradação, possibilitando a consideração da variabilidade associada à incerteza da realidade (Silva *et al.*, 2016). A principal vantagem no uso desta modelagem é a avaliação do desempenho de forma analítica, possibilitando maior controle dos planos de manutenção (Bordalo *et al.*, 2010). Exemplos de métodos de engenharia são redes neurais artificiais e lógica difusa. Andrade (2022) em seus estudos parte da simulação numérica higrótérmica para associar os parâmetros dos agentes e mecanismos com a degradação mensurada, evidenciando variáveis envolvidas no processo de degradação além da idade.

No processo de análise da vida útil emprega-se modelos que representam a evolução da degradação ao longo do tempo e também as curvas dose resposta, as quais trazem as ações de comportamento da edificação ou sistema frente a intensidade dos agentes de degradação (ISO 15686-2, 2012; Andrade, 2022). Estes modelos possuem grande aplicação para tipificar as fases de iniciação e propagação, como verificar a velocidade de degradação em cada condição que foram gerados. Além disso, permitem verificar quando a vida útil é alcançada, considerada uma variável de resposta associada ao nível de degradação.

Os modelos de previsão de vida útil apresentam algumas restrições como a variabilidade dos acontecimentos reais e a precisão do modelo estatístico. Dos modelos existentes voltados para o estudo da degradação, a principal variável considerada é a idade. Devido a quantidade de processos envolvidos na ocorrência da degradação e das variáveis que afetam a vida útil das edificações, os modelos de previsão de vida útil podem não ser tão precisos quanto o esperado. Deve-se analisar os resultados dos modelos como uma aproximação do real, visto que a determinação do fim da vida útil de um sistema ou componente é complexa, sendo variável conforme os critérios considerados, além de estarem relacionados diretamente às características da base de dados de estudo (15686-1, 2011; Silva; Brito; Gaspar, 2016; Andrade, 2022).

No Quadro 2 estão apresentados alguns modelos desenvolvidos ao longo dos últimos anos com as principais variáveis consideradas e a metodologia utilizada. Além disso, cada pesquisa pontua as variáveis mais significativas de acordo com o tipo de revestimento analisado.

Quadro 2 - Parâmetros considerados em modelos de degradação

Pesquisa	Elemento construtivo	Variáveis consideradas	Metodologia	Variáveis significativas	Coefficientes de ponderação
Gaspar e Brito (2008)	Fachadas cimentícias	Idade da edificação e o indicador do nível geral de degradação (S) ponderado pelo peso relativo de cada anomalia conforme nível de degradação em função da área total afetada.	Regressão simples linear	Idade da edificação	$R^2= 0,97$
Silva <i>et al.</i> , (2011)	Revestimentos de pedra natural de paredes	Índice de severidade ($S_{w, rp}$) calculado pela ponderação relativa entre diferentes tipos de anomalia em função dos custos de reparação. Sendo analisadas características como: tipo e cor da pedra, acabamento, proximidade ao mar, orientação, exposição ao vento, chuva e umidade.	Regressão simples linear	Cor do revestimento, distância ao mar, alta exposição a chuva e vento;	$R^2= 0,82$
Piazzarollo (2019)	Revestimento Cerâmico	Fator de danos (Fd) ponderado em função das zonas das fachadas, (fator geral de degradação (FGD) calculado pela importância relativa, custo de reparação e gravidade das anomalias descolamento cerâmico, fissuração, falha de rejunte e eflorescência), orientação e tipo de elemento construtivo.	Regressão múltipla linear	Fator de dano para paredes contínuas, sacadas, topo, aberturas, cantos e extremidades.	$R^2_a= 0,96$
Souza (2019)	Revestimento cerâmico	Fator geral de degradação (FGD) calculado pela ponderação das anomalias (descolamento cerâmico, fissuração, falha nas juntas e eflorescência) em função da gravidade e importância relativa, ponderado pelas características do revestimento: idade, claridade da cerâmica, dimensão da cerâmica, altura do edifício, elemento construtivo, existência de juntas, extensão da fachada, orientação, zonas da fachada e grau de proteção.	Regressão múltipla linear	Idade, Proteção, Dimensão, Orientação.	$R^2_a= 0,60$
			Regressão múltipla não linear	Idade, Proteção, Dimensão, Orientação	$R^2_a= 0,65$
Andrade (2022)	Revestimento cerâmico	Utiliza a simulação higratérmica e como variáveis de entrada são consideradas as características do elemento construtivo; propriedades dos materiais; condições iniciais e clima; orientação e altura da edificação; absorvância e o indicador de degradação (FGD).	Regressão múltipla linear	Idade, Chuva Dirigida, Teor de Umidade, Ciclos de Umidificação e Secagem e Esforços Térmicos	$R^2_a= 0,85$

Um ponto comum que vários estudos e modelos sobre degradação destaca é que a idade é uma variável significativa ao longo do processo. Comprovando o que é perceptível na prática, uma vez que os revestimentos cerâmicos e em argamassa sofrem ações deletérias ao longo dos anos. Em particular, o modelo proposto por Andrade (2022) se destaca dos demais, justamente por apontar como variáveis significativas no processo de degradação outros índices além da idade, obtidos por meio de simulação higrotérmica, como por exemplo: chuva dirigida, teor de umidade, ciclos de umidificação e secagem e esforços térmicos atuantes nas camadas do revestimento. Compreender de maneira mais completa e minuciosa o processo de degradação e suas variáveis e particularidades é essencial para avanço de estudos e na vivência prática atuar para solução e minimização dos problemas que podem ser decorrentes do processo de degradação.

2.5 Evolução da degradação

As anomalias presentes nas fachadas são na maioria, resultantes da falta de atendimento dos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos pelas normas nacionais e/ou internacionais vigentes. Por outro lado, podem ser consideradas manifestações diretas dos processos de degradação e suas variáveis (Souza, 2016). As anomalias comuns em fachadas são características à cada sistema de revestimento de fachada, devido ao comportamento diferenciado do sistema. Existem diversos sistemas de revestimento de fachadas, compostos por diferentes materiais que influenciam de forma significativa na durabilidade, manutenibilidade, custo, conforto térmico e acústico. Considerando Brasília, o sistema de vedação vertical comumente empregado é composto por alvenaria com revestimento cerâmico ou em argamassa, com ou sem acabamento em tinta (Amorim e Flores, 2005; Souza, 2019).

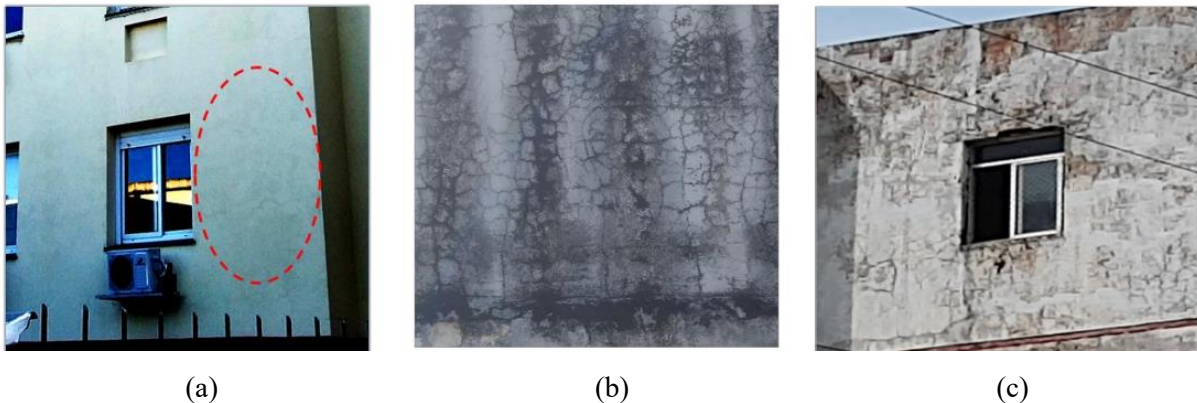
Na maioria das situações o surgimento de uma anomalia é causado por uma combinação de fatores. É possível destacar alguns fatores que podem ser responsáveis pelo surgimento e agravamento das anomalias no sistema de vedação dos edifícios. Quando a previsão do fenômeno de degradação é almejada, os agentes de degradação podem ser traduzidos em fatores condicionantes para o processo de degradação, conforme abordado na ISO 15686- 7 (2006). O primeiro deles diz respeito à qualidade dos componentes (Fator A), uma vez que anomalias podem surgir em decorrência de especificações incorretas dos materiais ou escolha inadequada de materiais (Silvestre e Brito, 2011). Um projeto de nível detalhado (Fator B) também exerce influência na degradação de um edifício e seus constituintes. O estudo e desenvolvimento do projeto de fachada arquitetônico e/ou executivo adequados evitam o

surgimento de anomalias e conseqüentemente aumentam a durabilidade. O seu surgimento está relacionado a ausência de projetos ou detalhamento no projeto de fachadas, tais como posicionamento das juntas, elementos que descolem da fachada a água proveniente da chuva e elementos de proteção solar (Souza, 2019).

Principalmente nas primeiras idades, o surgimento das anomalias pode ser causado por condições inapropriadas de execução (Fator C). Dentre as possíveis ocorrências é possível destacar a elevada espessura de revestimento externos, painéis em grandes extensões sem juntas no revestimento, rápida execução de revestimentos, cura incorreta ou não realização e até mesmo controle de qualidade nas etapas executivas (Gaspar e Brito, 2018). A exposição ao ambiente interno e externo (Fatores D e E) também podem contribuir para o aparecimento de anomalias em maior ou menor escala a depender de condições específicas conforme a localidade em que estão situados (Bauer *et al.*, 2015). Por fim, condições de uso (Fator F) e a frequência em que são realizadas opções de manutenção (Fator G) podem refletir no surgimento de anomalias. Atividades de manutenção não realizadas ou realizadas de forma incorreta, podem comprometer inclusive a gravidade de uma anomalia (Souza, 2019).

É nítido que o processo da degradação é evolutivo ao longo do tempo, podendo ao em suas etapas avançadas apresentar elevado grau de severidade e maior área acometida. A degradação começa com sintomas iniciais e pontuais, passando pela propagação que abrange maiores áreas até chegar na sua última e mais grave manifestação, em que se encontra generalizada. Exemplo das etapas mencionadas pode ser visualizado na Figura 8. Muitas vezes o surgimento das anomalias não é causado por apenas uma causa, e sim pela combinação de vários fatores. Diante da complexidade que envolve o seu surgimento e evolução se faz importante e necessário estudar os sintomas, mecanismos, origem e causa das anomalias (Sousa *et al.*, 2016).

Figura 8 - Exemplo das etapas evolutivas da degradação por fissuração em revestimento em argamassa com pintura. (a) Sintomas iniciais; (b) Propagação da fissuração; (c) Degradação generalizada.



Fonte: Bauer, Souza e Mota, 2021.

O detalhamento da distribuição das anomalias nas amostras de fachada é diferenciado em relação às zonas nas quais elas ocorrem. Para identificar com maior precisão em quais áreas da fachada existe maior frequência de aparecimento de anomalias, com base nas classificações de Gaspar e de Brito (2005), Antunes (2010) e Silva (2014), Souza (2016) classificou as fachadas em seis zonas, sendo elas: Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO).

Os principais mecanismos, agentes principais e coadjuvantes na iniciação e na propagação de algumas anomalias comuns aos revestimentos em argamassa são exibidos no Quadro 3, proposta por Bauer, Souza e Mota (2021). Nos agentes principais e coadjuvantes aparecem siglas que se referem à natureza dos agentes de acordo com a ISO 15686-1.

Quadro 3 - Mecanismos, agentes e propagação das anomalias de fachadas em argamassas.

Anomalias	Mecanismos	Agentes principais	Agentes coadjuvantes	Propagação
Fissura	Retração da argamassa.	Transporte de água (secagem) (Q), esforços de tração (M).	Radiação solar (temperaturas) (E, T), incidência de vento (secagem) (M), chuva dirigida (Q).	Temperaturas decorrentes da radiação solar (secagem), ciclos de umidificação e secagem.
	Deformação diferencial da base (alvenaria) e entre camadas de revestimento.	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M), radiação solar (E), temperatura (T).	Chuva dirigida (Q).	Esforços de tração cíclicos originados pela restrição de deformações térmica ou mecânica.
	Concentração de esforços.	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M).	Radiação solar (temperaturas) (E, T).	Incrementos de deformação na base, umidificação e secagem.
	Cristalização de sais da argamassa ou da alvenaria.	Água (chuva, ascensional) (Q), temperatura (T), cristalização (Q).	Radiação solar (temperaturas) (E, T).	Ciclos de umidificação e secagem.
Manchas	Molhagem não uniforme do revestimento.	Chuva dirigida (Q).	Radiação solar (temperaturas) (E, T), chuva dirigida (Q).	Ciclos de umidificação e secagem.
	Desenvolvimento de micro-organismos biológicos.	Micro-organismos (B), água (Q), pH (Q), temperatura (T), umidade relativa (Q), radiação solar (luz) (E).	Radiação solar (temperaturas) (E, T), chuva dirigida (Q).	Umidade, proliferação das colônias de micro-organismos, propagação para o interior da camada, fissuras.

NOTA: M: mecânicos E: Eletromagnéticos T: térmicos Q: químicos B: biológicos

Fonte: Bauer; Souza; Mota, 2021.

Quadro 3 - Mecanismos, agentes e propagação das anomalias de fachadas em argamassas (Continuação).

Anomalias	Mecanismos	Agentes principais	Agentes coadjuvantes	Propagação
Manchas	Acúmulo de sujeiras.	Incidência de vento (M), chuva dirigida (Q), chuva ácida (Q).	Temperaturas (secagem) (T), água (escorrimentos e desbotamentos) (Q), dissolução de compostos (Q).	Poluentes atmosféricos, ataque superficial da argamassa (ácidos, bases, agentes oxidantes e redutores).
Descolamento	Deformação e assentamento da base (alvenaria).	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M), radiação solar (E), temperatura (T).	Chuva dirigida (Q), incidência de vento (secagem) (M).	Incrementos de deformação e fissuração na base (alvenaria).
	Cristalização de sais da alvenaria.	Água (chuva dirigida) (Q), temperatura (secagem) (T), cristalização (Q).	Radiação solar (temperaturas) (E, T).	Ciclos de umidificação e secagem.
	Retração da argamassa.	Transporte de água (secagem) (Q), esforços de tração (M).	Radiação solar (temperaturas) (E, T), incidência de vento (secagem) (M).	Variações de temperatura (amplitude) decorrentes da radiação solar.
Pulverulência	Perda de coesão ou desagregação superficial dos constituintes da argamassa.	Esforços internos de expansão na argamassa (M).	Chuva dirigida, umidade ascensional (Q), cristalização de sais (Q), micro-organismos (B).	Ciclos de umidificação e secagem, umidade ascensional.

NOTA: M: mecânicos E: Eletromagnéticos T: térmicos Q: químicos B: biológicos

Fonte: Bauer; Souza; Mota, 2021.

Embora as diversas anomalias apresentem diferentes causas, há uma ocorrência preferencial em áreas específicas da fachada. As anomalias peculiares as zonas motivam estudo mais detalhado. Alguns pesquisadores (Freitas *et al.*, 2003; Gaspar e De Brito, 2005; Bauer *et al.* 2015; Souza *et al.*, 2015) afirmam que a partir de uma análise da origem e causas torna-se possível identificar quais áreas em que o surgimento de determinada anomalia é mais frequente.

2.6 Mensuração da degradação

O processo de degradação está relacionado com a perda de desempenho em serviço. Embora a relação destas não seja considerada uma relação linear por depender de diversos fatores, a análise do desempenho em serviço recorre, com maior frequência, a modelos de degradação em vez de modelos de desempenho (Flores-Colen, 2009). A degradação pode ser entendida como a perda de desempenho, isto é, sendo responsável pela falta de atendimento de requisitos e critérios, tais como os relacionados à segurança no uso, estanqueidade, desempenho térmico, durabilidade e manutenibilidade.

A evolução da degradação normalmente é representada por índices de degradação ao longo do tempo, dando origem à curva de degradação (índice de degradação x tempo) para a determinação da vida útil. Essa representação da curva de degradação reflete a velocidade com que os sistemas perdem sua capacidade funcional, assim deixando de atender aos requisitos exigidos (Gaspar; Brito, 2008; Shoet *et al.*, 1999; Silva, 2014). A quantificação da degradação é uma forma indireta de avaliar o desempenho dos edifícios. Todavia, essa mensuração é uma tarefa complexa, desde a quantificação da extensão das anomalias até a sua tradução em um índice (Mota, 2021).

O interesse por estudos relacionados à mensuração e modelação da degradação se deve a diversos fatores como necessidade de prever a degradação das edificações, a necessidade em estabelecer requisitos para a vida útil dos componentes ainda na fase de projeto, possibilitar a previsão da vida útil de sistemas dos edifícios como das fachadas e permitir melhor gestão da manutenção (Silva, De Brito, Gaspar, 2016). A vida útil de qualquer elemento pode variar significativamente de edifício para edifício, uma vez que cada edifício é um protótipo que responde a condições que não podem ser repetidas. Assim, os modelos de degradação pretendem expressar padrões de degradação não tanto direcionados a um edifício específico, mas identificando os pontos comuns entre diferentes edifícios, de acordo com uma série de características-chave, fatores, mecanismos de degradação e requisitos de desempenho

estabelecidos, ou seja, os modelos são elaborados para uma base de dados específica (Silva, 2023).

Para modelar um fenômeno do mundo real, seja ele qual for, é necessário construir modelos que contemplem as informações coletadas nessa situação. O modelo deve funcionar como uma aproximação razoavelmente precisa do sistema real, contendo uma série de parâmetros importantes para sua correta descrição (Field, 2009). A definição de ferramentas eficientes e precisas para avaliar a degradação dos elementos de construção ao longo do tempo torna-se cada vez mais importante. Vários trabalhos exploram a modelação e a utilização de ferramentas estatísticas como Análise por Regressão para previsão da degradação ou previsão de vida útil (Bordalo *et al.*, 2011; Galbusera *et al.*, 2014; Chai *et al.*, 2015; Silvestre *et al.*, 2015; Neves *et al.*, 2018; Souza, 2019; Pereira *et al.*, 2020).

Para a quantificação da degradação em fachadas pode ser utilizado o Método de Mensuração da Degradação (MMD) desenvolvido pelo *DMM Project* no PECC-UnB. O MMD consiste em um conjunto de procedimentos de investigação e análise que permitem obter índices de quantificação do fenômeno. Esta metodologia é uma ferramenta que uniformiza as diferentes etapas da inspeção e quantificação. A avaliação da degradação em fachadas de edifícios é facilitada devido ao processo organizado, lógico e sistemático. O MMD é composto por procedimentos que envolvem inspeção de fachada, mapeamento e quantificação (Souza, 2016; Silva, 2014). O método, bem como suas equações e considerações, estão listados no capítulo de metodologia do estudo.

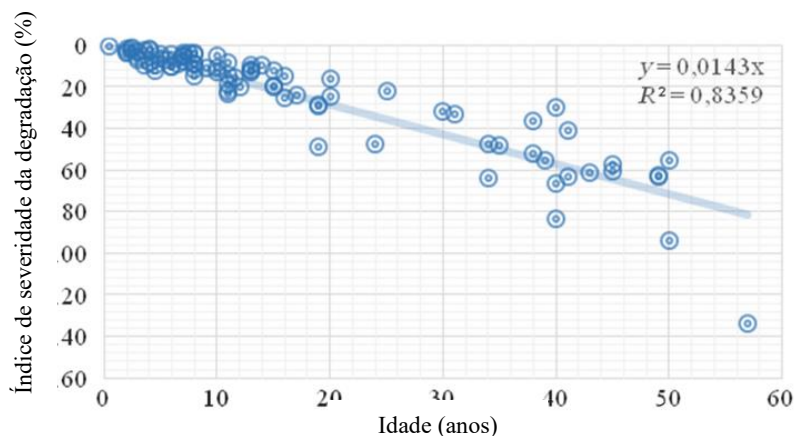
O método MMD, possui uma particularidade da amostragem que é a divisão da fachada em amostras de fachada, o que o diferencia de vários métodos que quantificam a degradação de toda a fachada (Galbusera *et al.*, 2014; Magos *et al.* 2016; Prieto *et al.* 2018). O uso de amostras de fachada no MMD permite investigações mais específicas como avaliar e definir zonas preferenciais de degradação, observar a variabilidade da degradação ao longo da fachada e comparar diferentes comportamentos de elementos arquitetônicos (Bauer, Souza, Piazzarollo, 2020).

A aplicação do MMD resulta em indicadores de degradação que permitem diversas formas de análises do seu comportamento, desde as mais específicas as mais gerais. Além disso viabilizam a reprodução de modelos matemáticos de degradação, os quais permitem realizar a estimativa de vida útil das fachadas (Souza, 2019). O MMD se baseia na adaptação e modificação do índice de severidade da degradação (S) que objetiva construir modelos de degradação e obter estimativas da vida útil do sistema analisado, proposto por Gaspar (2009). Além da definição clara de como efetuar a quantificação das anomalias, outra importante

contribuição e diferencial do MMD é a subdivisão da fachada em amostras, que, por exemplo, permite investigar variações de degradação em uma mesma fachada (Mota, 2021).

Dentre as variedades existentes para mensurar e modelar a degradação é importante destacar que cada uma delas apresenta uma finalidade. A Figura 9 representa uma curva de degradação do tipo linear relacionando um índice de severidade da degradação e a idade. Com base no índice de severidade, é possível representar graficamente a perda de desempenho de fachadas rebocadas ao longo do tempo. Também é possível estabelecer uma curva média usando um procedimento gráfico no qual uma reta de regressão simples é ajustada à dispersão de pontos na amostra, cuja abscissa mede a variável "idade" e cujas ordenadas medem a variável "severidade" (Silva, *et al.*, 2016).

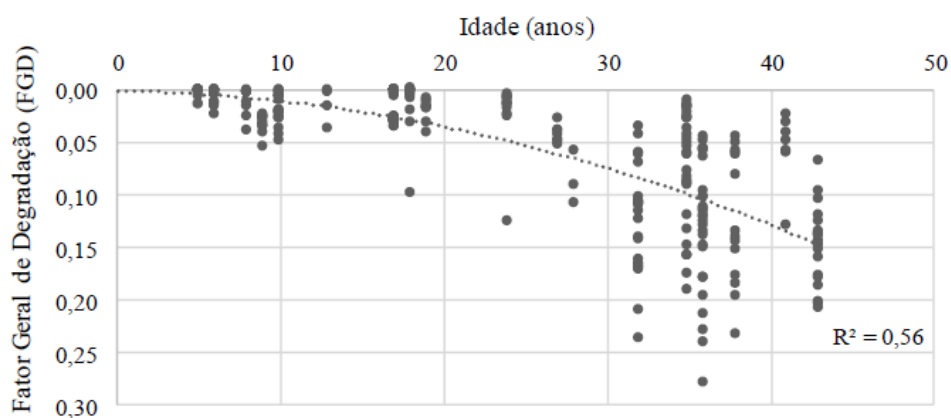
Figura 9 - Curva de degradação tipo linear



Fonte: Silva *et al.*, 2016.

Na Figura 10 estão ilustrados os valores correspondentes ao nível de degradação dos revestimentos cerâmicos inspecionados, distribuídos de acordo com a idade de cada revestimento. O comportamento do indicador de degradação observado na curva é representado pelo polinômio de segundo grau. O crescimento da degradação inicialmente é lenta e aumenta ao longo do tempo, sendo possível perceber para uma mesma idade amostras com níveis de degradação distintos. A forte influência da idade sobre o processo de degradação pode ser verificada pelo coeficiente de determinação (R^2) que equivale a 0,56. Esse valor indica que aproximadamente 56% da variabilidade de FGD pode ser justificada pelo modelo, que considera a idade do edifício como a única variável (Souza, 2019).

Figura 10 - Comportamento da degradação ao longo do tempo de edifícios localizados em Brasília - DF.



Fonte: Souza, 2019.

A mensuração da degradação utilizando o MMD permite análise da degradação em função das diferentes zonas das fachadas. Piazzarollo (2019) conclui que as zonas da fachada são afetadas de maneira distinta conforme o tipo de elemento construtivo, a orientação e, principalmente, a idade, comprovando a importância do estudo isolado de cada uma delas. Pelo mesmo método de mensuração da degradação Silva (2022) avalia a variabilidade da degradação. Seu estudo evidencia que existe diferença da degradação entre pavimentos da edificação, principalmente em relação ao topo, andar que apresenta maior número de anomalias. Além disso, pontua que edifícios mais novos apresentam variabilidade em relação aos edifícios de idades intermediárias e mais velhos pois a degradação é um fenômeno que aumenta ao longo do tempo. Por meio da análise do FGD para cada fachada estudada, conclui-se que a variabilidade é mais alta para edifícios novos, com baixo nível de degradação. Essa dispersão tende a diminuir com o aumento da idade e dos níveis de degradação.

Diante da vastidão de suas aplicações é importante ressaltar que o estudo e modelação da degradação a partir de uma base de dados é condicionada às suas características. Os agentes e mecanismos de degradação são particulares às edificações da base de dados bem como os critérios pré-estabelecidos de vida útil e variáveis consideradas, logo a comparação e aplicação de um modelo com outras bases de dados diferentes da qual foi desenvolvido pode levar a resultados equivocados, sendo necessário uma análise crítica dos resultados (Andrade, 2022; Bauer, Souza, 2022). A metodologia e as abordagens podem ser replicadas desde que se

leve em consideração as especificidades não apenas da base de dados como também da região geográfica de estudo.

2.7 Aplicações do estudo da degradação

Mensurar a degradação permite diversas aplicações e estudos que são capazes de melhorar a precisão de modelos e contribuir para o desempenho de sistemas de fachada. Inspeções e verificações em campo permitem aferir a degradação como uma resposta direta condicionada ao uso e exposição de fachadas de uma edificação (ISO 15686-2:2012). Tais informações são significativas e podem ser úteis no desenvolvimento de projetos e materiais mais adequados para as situações verificadas em casos reais.

Situações de elevada degradação podem estar associadas a um maior grau de exposição a agentes climáticos de degradação (Souza *et al.*, 2024). Exposições mais elevadas necessitam de materiais mais resistentes e projetos adequados para garantir o desempenho ao longo da vida útil. Como investigado por Piazzarollo (2019) e Silva (2022) o topo das edificações são regiões mais acometidas pela degradação, em que maior quantidade de anomalias são identificadas em área e gravidade, então claramente é uma região da fachada que necessita de materiais e decisões projetuais mais específicas de acordo com as implicações do processo evolutivo da degradação.

É muito comum que a vida útil de serviço apresente discrepância em relação à vida útil de projeto, especialmente em fachadas. Algumas causas podem ser elencadas para justificar tal diferença como diferença de exposição e atuação dos agentes e o grau de proteção da fachada. As próprias indefinições de projeto contribuem para uma vida útil de serviço diferente do que foi projetado. Os projetos de fachadas tendem a ser iguais, independentemente da orientação da fachada. O que se observa é que para a orientação Norte tende a se degradar mais em função da exposição aos agentes climáticos, como radiação solar e chuva dirigida (Souza, *et al.*, 2024).

A vida útil de uma edificação representa o tempo que ela atende os requisitos e níveis de desempenho para os quais foi projetada, com atendimento dos níveis de desempenho previsto, considerando a periodicidade e a execução correta das intervenções de manutenção (NBR 15575:2024). Para determinação da previsão de vida útil deve-se identificar as informações necessárias, selecionar ou executar de testes de avaliação e interpretar os

resultados, analisando também intensidade dos agentes (ABNT NBR 15575-1, 2021; ISO 15686-2 2012; Silvestre; Brito, 2009).

O processo de crescente envelhecimento é inevitável. No entanto, a taxa associada ao processo de degradação pode ser regularizada através da execução de ações periódicas de manutenção. Estas ações podem ser responsáveis por prolongar a vida útil dos elementos da fachada, prevenindo danos mais graves e problemas associados. Cabe destacar que a seleção de melhores estratégias de manutenção pode melhorar a alocação de recursos e minimizar a perda de desempenho durante todo o ciclo de vida útil (Flores-Colen, 2009). O modo como é executada a manutenção dos edifícios e definida as estratégias de manutenção contribuem mais ou menos para o bom desempenho de um edifício, mediante a qualidade técnica das soluções.

O ideal é estabelecer manutenção frequente das fachadas, contribuindo para a sua durabilidade, aumentando a expectativa quanto à vida útil, garantindo que elas permaneçam funcionais e esteticamente aceitáveis por um período definido. Diversas pesquisas (Silva *et al.*, 2011; Chai *et al.*, 2015; Gaspar, 2017; Neves *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2021a) buscam fazer previsões da vida útil de componentes da edificação e propõem modelos para gestão da manutenção.

Os custos globais e de manutenção estão intrinsecamente ligados ao perfil de durabilidade dos materiais e componentes utilizados na construção. Um revestimento cerâmico de alta durabilidade requer menos intervenções ao longo do tempo, enquanto revestimentos de baixa durabilidade podem exigir reparos mais frequentes e, eventualmente, a substituição completa. Isso significa que, se os revestimentos cerâmicos forem escolhidos e instalados adequadamente, eles podem resistir melhor às condições climáticas adversas, poluição ambiental e outras formas de degradação, resultando em custos de manutenção mais baixos (Flores-Colen, 2009; Dias; Flores-Colen; Silva, 2021). A adoção de pequenas intervenções ou de atividades de limpeza aumentam os custos operacionais ao longo da vida do ativo, mas quando realizadas com a periodicidade adequada permitem manter o desempenho dos componentes das edificações em padrões elevados durante a maior parte da sua vida útil, promovendo assim a sua durabilidade (Ferreira *et al.*, 2021).

A literatura sobre conservação e manutenção de edifícios ressalta a importância da avaliação e do monitoramento contínuo da degradação ao longo dos anos. Autores enfatizam a necessidade de considerar a idade de um edifício ao planejar intervenções de restauração e conservação, uma vez que edifícios mais antigos podem apresentar problemas específicos de degradação (Silva; Brito; Gaspar, 2016; Ferreira *et al.*, 2021). Um edifício com elementos que

estão degradação mais intensa requer cuidados diferentes, quando se compara à um edifício com menor idade e sinais mais brandos de degradação.

As ações de manutenção, quando executadas adequadamente, permitem prolongamento do fim da vida útil, pois é possível tratar problemas menores antes que se tornem mais sérios. Isso ajuda a evitar que a degradação avance e reduz a probabilidade de danos significativos (Meira e Padaratz, 2002). Além disso, quando os problemas são identificados precocemente, é mais fácil e econômico corrigi-los, ou seja, a manutenção considerada preventiva é uma abordagem mais econômica e viável a longo prazo, desde que considere o nível e estágio de degradação e as reais necessidades da edificação ou elemento.

Quando a degradação não se encontra em estágios avançados e que as anomalias encontradas são localizadas sem atingir grandes áreas, alguns procedimentos simples, quando realizados de forma correta já são capazes de solucionar os problemas, os procedimentos de limpeza da fachada devem ser realizados periodicamente para a remoção de eflorescências e manchas que favorecem o desenvolvimento de microrganismos. Quando as atividades de manutenção são realizadas de forma errônea, as anomalias tendem a reaparecer mais rapidamente e até mesmo com maior gravidade que anteriormente (Galbusera, De Brito, Silva, 2014; Ferreira *et al.*, 2021).

Além disso, com a correta abordagem de mensuração da degradação é possível elaboração de modelos de degradação mais precisos, capazes de captar e representar as diferenças que acontecem ao longo do processo evolutivo da degradação. Um possibilidade vantajosa de aplicação dos modelos é a própria incorporação e abordagem da modelagem em normas de manutenção, uso e desempenho visando a melhoria geral dos sistemas de fachadas das edificações. Associar as atividades de manutenção com as características climáticas e de exposição também é ponto relevante dentro da temática, uma vez que a degradação surge e evolui de formas distintas em função do grau de exposição e a ação de agentes climáticos.

3 DIFERENCIAÇÃO EVOLUTIVA DA DEGRADAÇÃO

Os processos de iniciação e propagação da degradação ocorrem de maneira singular para cada sistema, levando a necessidade de um estudo detalhado das falhas e origens (Farmer, 2004). Pode-se considerar que a iniciação da degradação ocorre até o limite de vida útil e que a fase de propagação ocorre a partir do momento em que limite de vida útil é excedido (Bauer; Souza, 2022; Bordalo *et al.*, 2011). Cada um dos agentes de degradação atua de maneira singular em cada sistema e sua influência conjunta também é significativa. O efeito dos agentes varia com o efeito sinérgico, com a acumulação de falhas ao longo do tempo, se diferenciando ao longo das fases da degradação. Para estimativas de vida útil, não se deve considerar apenas um fator ou agente de degradação, mas sim a sinergia dentre os fatores envolvidos, os quais afetam diretamente o desempenho do material ou componente (ISO 15686-1, 2011).

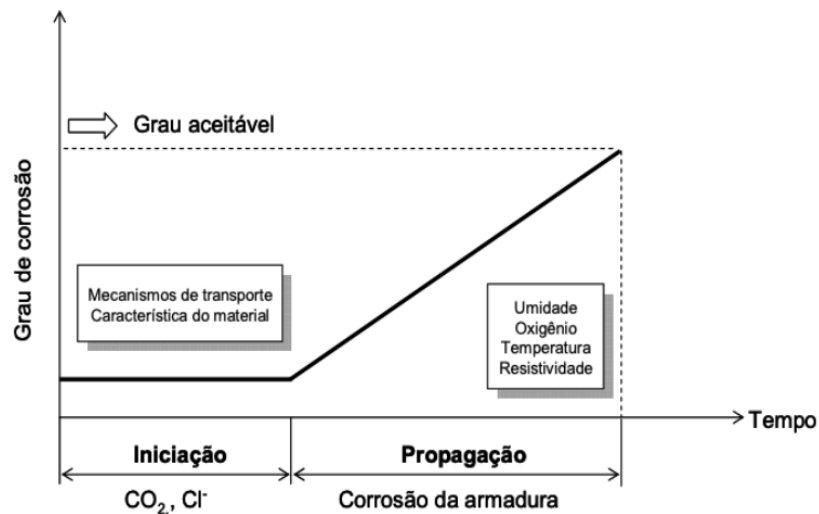
Para estruturas de concreto armado, Tuutti (1982) estabelece um modelo de evolução da degradação, com foco na corrosão das armaduras. Este modelo, amplamente utilizado, estabelece duas fases distintas de degradação, denominadas de iniciação e propagação, que são caracterizadas a seguir.

- A fase de iniciação se caracteriza pela penetração dos agentes agressivos, até o momento no qual a armadura se despassiva. Depende das características de agressividade do meio ao qual a estrutura está exposta e das características dos materiais, como o tipo de cimento, porosidade superficial do concreto, tipo de aço etc. Com a despassivação da armadura, inicia-se a fase de propagação da corrosão. É caracterizada pelo transporte, para o interior do concreto, de agentes agressivos capazes de desencadear a corrosão, em especial o gás carbônico, responsável pela carbonatação do concreto, e os íons cloretos, responsáveis pela ruptura localizada da película passiva (Helene, 1997; Carmona, 2005; Pakkala, 2019).
- A fase de propagação da corrosão se caracteriza pelo desenvolvimento das reações de corrosão, as quais podem ser mais ou menos rápidas em função das variáveis que controlam a cinética das reações, ou seja, em função da disponibilidade de oxigênio, da resistividade do meio, da temperatura etc. Nesta fase, o processo de corrosão se desenvolve com maior ou menor velocidade, dependendo da resistividade do concreto, da presença de oxigênio e das características do ambiente em termos de umidade e temperatura. Quando aparecem manchas de corrosão na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento

adjacentes à armadura, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobertura, tem-se o término da vida útil de serviço ou de utilização da estrutura (Helene, 1997; Carmona, 2005; Nogal 2018; Stewart, 2019).

Na Figura 11 estão representadas graficamente as duas fases distintas da degradação especificamente para o concreto armado.

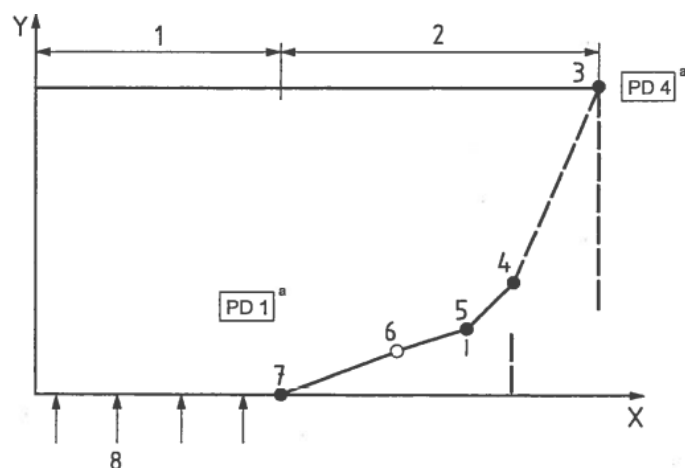
Figura 11 - Modelo de Tuutti para a corrosão de armaduras



Fonte: Tuutti, 1982.

A degradação evolui de forma diferenciada ao longo do tempo, além de ser singular a cada tipo de material. A ISO 15686-7:2012 apresenta um exemplo de previsão de vida útil e planejamento de manutenção para a estrutura de concreto da Olimpíada Torre em Munique. Em tal exemplificação através da representação gráfica da Figura 12 é possível diferenciar duas fases bem distintas em que se tem a iniciação e a propagação, indicadas pelos números 1 e 2, respectivamente.

Figura 12 - Níveis de deterioração do concreto.



Fonte: ISO 15686-7:2012.

Nota: Y - Nível de deterioração; X - Tempo de exposição (anos); 3 - Colapso da estrutura através de falha de vínculo ou redução da seção transversal do reforço do rolamento de carga; 4 - Fragmentação da cobertura de concreto; 5 - Formação de rachaduras; 6 - Deterioração reconhecível através de métodos de medição não destrutivos; 7 - Despassivação do reforço; 8 - Condição compreendida pelo monitoramento; ^a - Graus de desempenho.

Além do exemplo anterior apresentado pela ISO 15686-7:2012, ela apresenta em seu escopo uma estrutura metodológica que permite avaliar o desempenho e a vida útil de elementos construtivos. O desempenho não deve ser associado com o comportamento em uso, mas sim com aspectos associados ao grau de funcionalidade dos elementos e sistemas, e sua evolução com tempo. A norma pontua que a vida útil deve ser prevista a partir da avaliação de desempenho das distribuições de graus de desempenho sobre a construção, e os estados-limite ou níveis de aceitação. O nível de deterioração de um componente pode estar relacionado diretamente aos graus de desempenho e quando o dano funções são conhecidas, a vida útil pode ser calculada.

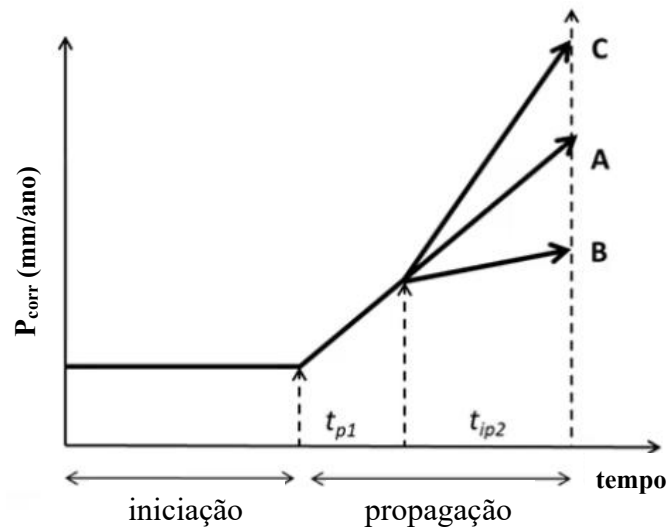
- A pesquisa de desempenho deve conter uma avaliação de qualquer falha durante o registro de desempenho ou controle de desempenho. Se não for registrada falha, o levantamento de desempenho ainda deve indicar que a avaliação foi realizada para estabelecer isso. Três situações distintas podem ser observadas: nenhuma falha, possível falha oculta e falha. Na primeira situação não há registro de falha e a execução correta foi documentada. Quando há possibilidade de uma falha oculta, considera-se que a documentação foi insuficiente para determinar se existe ou não falha. No

último caso, há o registro de uma falha. Ressalta-se que quando existe falha ou falha oculta, há necessidade de registro específicos que levaram a tal conclusão.

- Após verificação de falhas para análise de risco e recomendação de ações, as consequências do desempenho registrado devem ser avaliadas. Para a ISO 15686-7:2012 as consequências são expressas por meio de graus, que são denominados de consequência, variando de 0 a 5. Quando o grau de consequência é 0, não há nenhuma consequência, enquanto que o grau representa consequências menores. Para o grau 2 as consequências são médias. Considerando uma gravidade maior, se tem consequências sérias e catastróficas para os graus 3 e 4, respectivamente. O grau de consequência é estabelecido para uma ou mais consequências individual ou coletivamente por um conjunto de consequências. Com base nos graus apresentados na norma e com o fato da degradação dividida em duas fases diferentes, pode-se considerar que até o grau 2 em que as consequências são médias, se tem a fase de iniciação da degradação. Com um grau de consequência maior (3 e 4) que possui danos mais graves e intensos, considera-se que está é a fase de propagação da degradação.

Estudos mais avançados relacionados à corrosão de barras de aço apontam um novo limite entre as fases de propagação e degradação. Segundo o Model Code 2020 (MC2020) atualmente atribui-se que a fase de propagação começa além da despassivação, e sim quando começam a surgir as primeiras fissuras no material. Além do novo limite proposto, há considerações sobre uma subdivisão dentro da fase de propagação da degradação em casos de corrosão de armaduras (Perdrix, 2023). A fase de propagação, pode se subdividir com base em comportamentos específicos inerentes a cada caso estudado. Conforme apresentado na Figura 13, em um determinado ponto da propagação da corrosão a sua velocidade pode ser constante. Porém, há casos em que essa velocidade não é mantida constante. A velocidade pode ser maior ou menor a depender de fatores externos e de ambiente que podem ser considerados fatores aceleradores ou atenuantes (linhas B e C) no processo de corrosão (Perdrix, 2023).

Figura 13 - Subdivisão da fase de propagação da corrosão

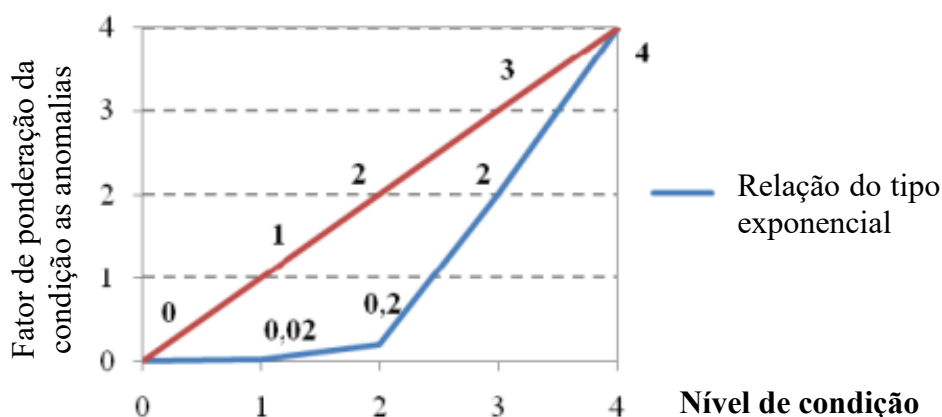


Fonte: Perdrix, 2023.

Analogamente ao estudo em concreto armado, Bordalo *et al.* (2011) estudando revestimentos cerâmicos identificou também a presença de fases diferentes. Na fase de iniciação, os fenômenos de degradação ocorrem de forma lenta e as anomalias manifestadas são pouco condicionantes, por si só, para o fim da vida útil deste tipo de revestimentos. É na fase de propagação que se verifica a perda de desempenho dos revestimentos que poderá resultar da sobreposição de um ou mais mecanismos de degradação que ocorrem não como um processo meramente aditivo de efeitos, mas como um sistema com sinergia, de tal modo que uma determinada ação afete as outras e vice-versa.

O estudo utilizou uma escala exponencial na ponderação dos níveis de degradação propostos para os revestimentos cerâmicos aderentes, como pode ser observado na Figura 12. Por meio da escala utilizada pode-se observar claramente dois comportamentos distintos, por meio da representação da curva de relação do tipo exponencial. A partir do nível de condição 2 ocorre uma mudança brusca na inclinação da curva (Figura 14), podendo ser associada à diferenciação da degradação em duas fases distintas em iniciação e propagação.

Figura 14 - Comparação entre diferentes formas de ponderação dos níveis de degradação dos revestimentos cerâmicos



Fonte: Bordalo *et al.*, 2011.

Outros estudos, inclusive sobre materiais diferentes, pontuam sobre comportamento distinto ao longo do tempo. Gaspar e De Brito (2003) pontuam que a perda de desempenho de rebocos de argamassa tem um padrão de deterioração de três fases, denominados iniciação, maturação e deterioração. Em um estudo sobre aparecimento de bolhas em superfícies poliméricas, como revestimentos anticorrosivos e asfaltos modificados por polímeros, há indicativos de que as bolhas surgem quando expostas à umidade e ao ar e se comportam de maneira distinta com o decorrer do tempo sob determinadas condições (Effendy, *et al.*, 2021).

Piazzarollo (2019) ao estudar a evolução e gravidade da degradação em diferentes zonas componentes de fachadas, concluiu que a gravidade dos defeitos varia ao longo das idades, evidenciando um comportamento diferente nas idades iniciais e mais avançadas. Com relação à gravidade da degradação, os resultados mostram que, para cada idade do edifício, as importâncias da intensidade e da frequência de ocorrência dos danos variam. Pode-se afirmar que a gravidade dos defeitos pontuais é maior que dos generalizados, uma vez que acontecem com frequência mais elevada. Os defeitos generalizados tendem a ser mais graves nos edifícios com idades maiores, enquanto os pontuais são mais graves nas idades iniciais. É possível observar a diferença nos valores do índice de gravidade relativa para dois grupos com idades distintas, apresentadas nas Figuras 15 e 16. Os intervalos de classe são definidos por meio da diferença entre o valor máximo e mínimo do FD_w para cada zona e as zonas consideradas no estudo são: paredes contínuas (PC), aberturas (AB), sacadas (SC), cantos e extremidades (CE), transição de pavimentos (TP) e topo (TO).

Figura 15 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 1

Grupo 1 (5 a 14 anos)

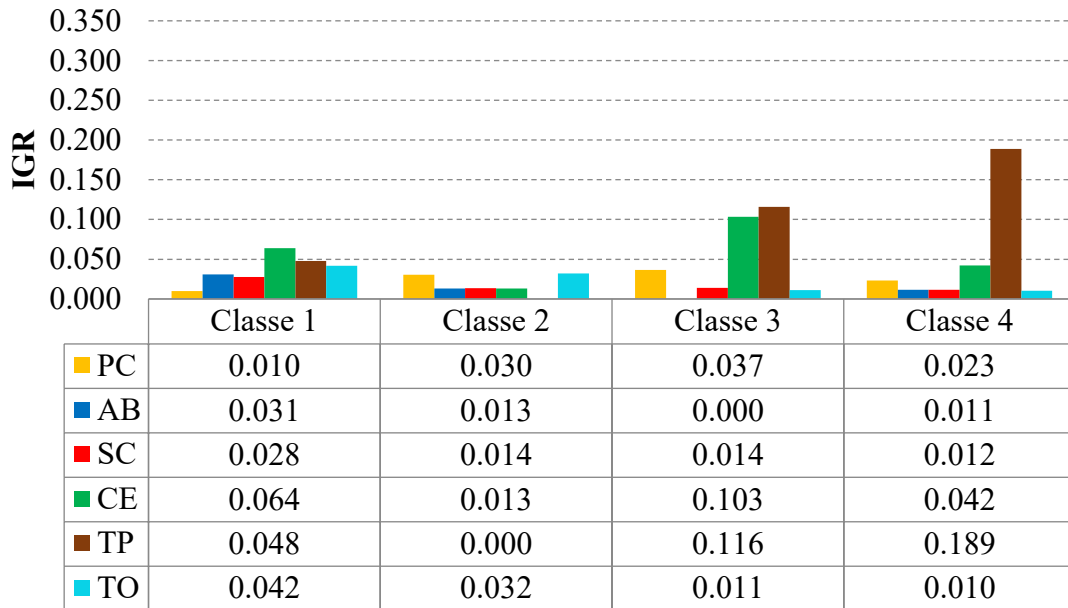
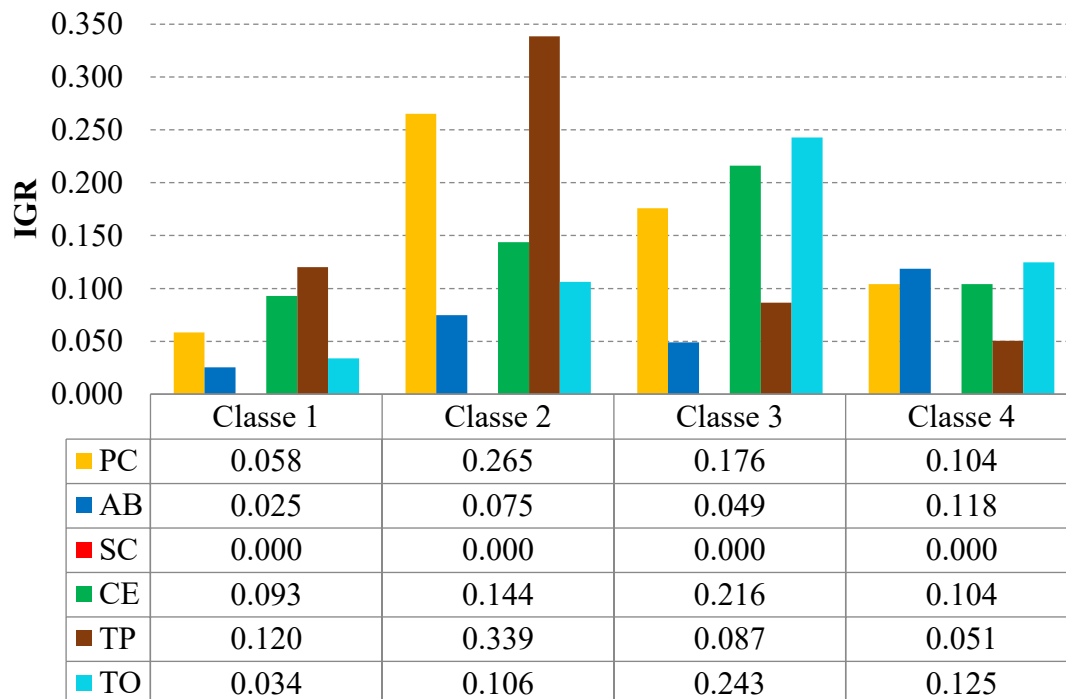


Figura 16 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 3

Grupo 3 (25 a 48 anos)



Souza (2019) com o estudo sobre impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edificios utiliza um coeficiente de gravidade de degradação que classifica a

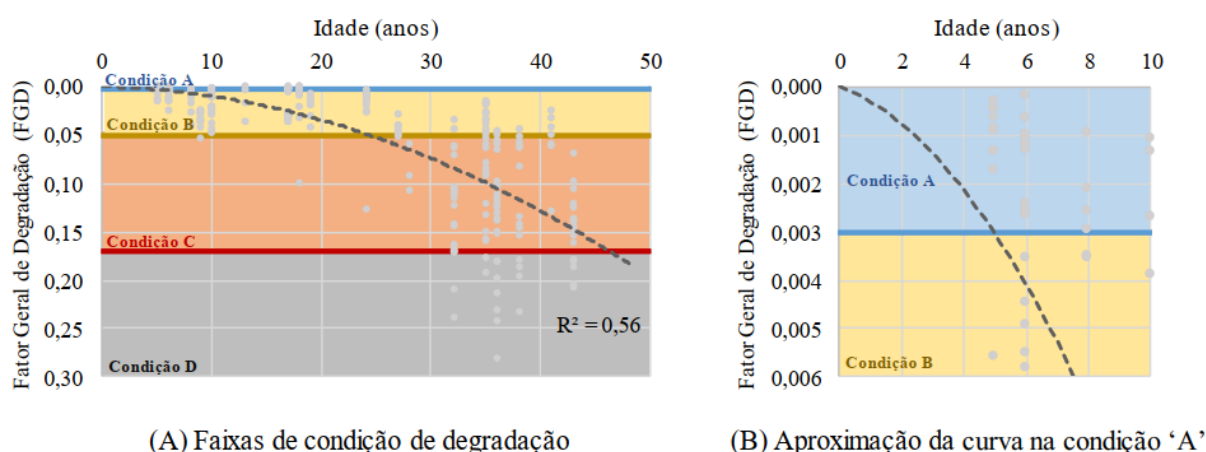
extensão da degradação, como pode ser observado na Figura 17. Este indicador estabelece uma escala de degradação, de forma hierárquica, das anomalias conforme sua extensão de ocorrência. Os níveis variam de A a D, conforme definição da Tabela 3.

Tabela 3 - Definição e limite dos níveis de degradação

Nível	Limite	Definição
A	< 0,003	Tem como característica apresentar boas condições. A incidência de anomalias não prejudica a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. Essa condição não causa riscos à segurança dos usuários e é sugerida a realização de manutenções preventivas.
B	0,003 a 0,05	Indica uma condição de caracterizada pela presença de anomalias pontuais que prejudicam a funcionalidade do sistema de vedação, sem prejudicar a durabilidade e segurança dos usuários. Para o nível B é sugerida a realização de manutenções preditivas, isto é, manutenções periódicas que avaliem o desempenho do sistema.
C	0,05 a 0,17	O limite da condição C indica estado limite de serviço e é caracterizada pela presença generalizada e simultânea de anomalias que prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. O impacto visual do excesso de anomalias na fachada pode gerar insegurança e transtornos psicológicos aos usuários. Nessas condições é sugerida a realização de manutenções corretivas.
D	> 0,17	O nível D é de estado limite último e tem por características presença generalizada de anomalias que prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema de vedação. Essa condição reduz significativamente os níveis de segurança apresentando risco de colapso ou ruína do sistema de vedação. Nessas condições é sugerida a realização de restauração ou reabilitação do sistema.

Fonte: Souza, 2019.

Figura 17 - Faixas de Condição de Degradação



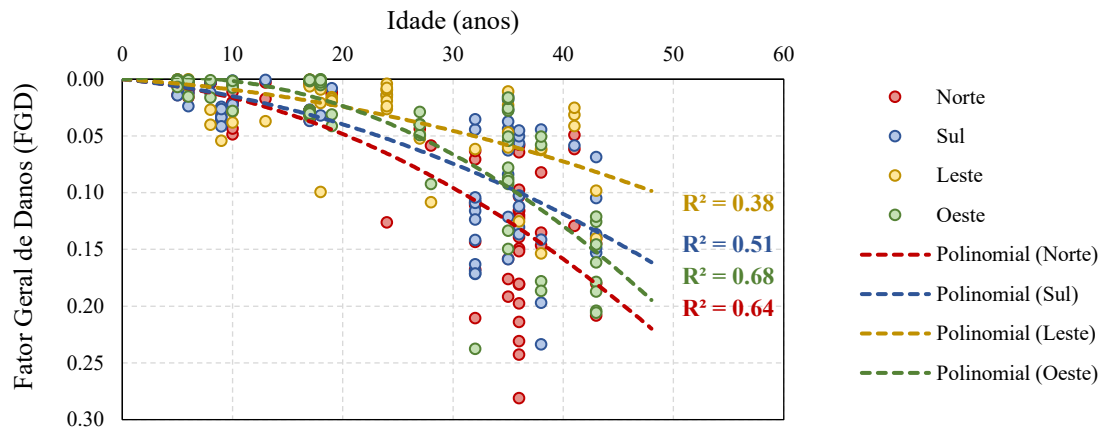
Fonte: Souza, 2019.

Os níveis ou condições de degradação considerados nos estudos de Souza (2016 e 2019), apresentam relevância prática no campo da degradação e processos de manutenção necessários ao longo da vida útil de elementos ou sistemas de fachadas. Com o avançar da idade o desempenho diminui e o nível de degradação se altera aumentando o seu nível (A, B, C e D). Além destas alterações, o principal fato a ser observado é que as operações de manutenção se tornam mais necessárias e o tipo de reparo mais intenso, complexo e em alguns casos até mesmo mais caro. Apesar dos estudos apresentarem as 4 condições de degradação com características bem definidas, tem cunho de classificação do comportamento da degradação em função dos valores de FGD ao longo dos anos, e não de aplicação específica para as amostras que se enquadram em umas das 4 condições. Com evidências do comportamento distinto da degradação é necessário investigar o motivo e os fatores envolvidos na diferenciação observada. A evolução da degradação em um intervalo de tempo indica que as causas se diferenciam no decorrer do processo, sendo possível pontuar a orientação e o grau de proteção e exposição das fachadas (Souza, *et al.*, 2024).

No estudo de Souza (2019) fica evidente que o comportamento da degradação ao longo do tempo se diferencia. Observa-se que para diferentes orientações das fachadas a degradação assume comportamentos únicos ao longo do tempo. É possível, a partir da Figura 18, identificar que o início da degradação nas primeiras idades e até por volta de 20 anos, o comportamento da degradação representado pelas curvas é semelhante e elas estão bem próximas. Ao ultrapassar a marca de 20 anos e também o limite de vida útil considerado para $FGD > 0,05$, as curvas assumem comportamentos distintos para cada uma das quatro orientações consideradas. Maior degradação é observada para orientação Norte e a menor para

a orientação Sul. Diversos estudos posteriores reforçam que o limite de FGD estabelecido por Souza (2019) representa de forma coerente para definição do final da vida útil (Andrade, 2022; Bauer e Souza, 2022; Souza *et al.*, 2024, Souza e Bauer, 2025).

Figura 18 - Tendência de comportamento de degradação de fachadas em função da orientação



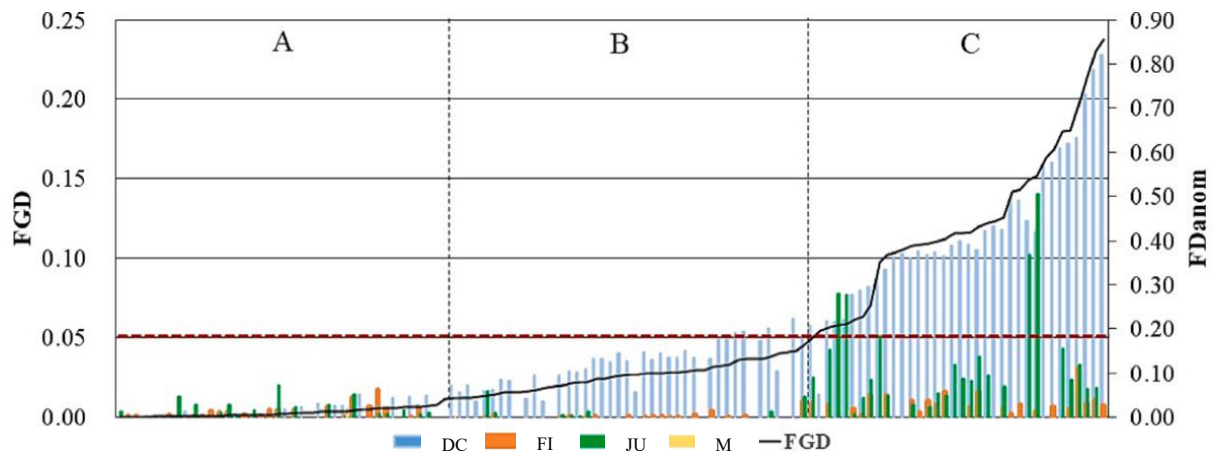
Fonte: Souza, 2019.

Bauer e Souza (2022) ao analisar fachadas com revestimento cerâmico identificam que as amostras possuem dois comportamentos distintos observados antes e após atingirem o limite de vida útil. Antes de atingir o limite de vida útil as amostras associadas a idades menores, correspondem a uma menor degradação, ou degradação intermediária. Quando ultrapassam o limite de vida útil, as amostras possuem uma degradação avançada, que corresponde à fase de propagação da degradação, quando já ultrapassa o limite de vida útil.

Com intuito de investigar essas relações, Bauer e Souza (2022) em um estudo realizado sobre as zonas de degradação, dividem amostras em grupos (A, B e C), como apresenta a Figura 19. Os grupos classificados em ordem crescente com base no valor de FGD representam níveis de degradação diferentes: grupo A, corresponde a uma menor degradação, geralmente associada a idades mais baixas, grupo B representa uma degradação intermediária, mas dentro do limite de vida útil e o grupo C se refere a uma degradação avançada, acima do limite de degradação da vida útil. Os grupos A e B referem-se à fase de início da degradação, abaixo do limite de vida útil ($FGD < 0,05$), e o grupo C à fase de propagação da degradação, quando já ultrapassa o limite de vida útil. Para o caso da fase de iniciação (Grupo A), particularmente em idades mais jovens, são detectados casos isolados nos quais não há prevalência evidente de uma anomalia sobre outra. Para níveis ligeiramente mais elevados de degradação, ainda na iniciação (Grupo B), a predominância do descolamento é identificada

como a anomalia primária. Na fase de propagação (Grupo C), observa-se além do descolamento, mas também a ocorrência significativa de falhas nas juntas e fissuras. Em uma degradação generalizada, as anomalias ocorrem com maior incidência e gravidade, influenciando valores mais elevados de FGD.

Figura 19 - Contribuição da anomalia (FDanom) para a evolução da degradação (FGD)



Fonte: Bauer e Souza, 2022.

Através dos estudos mencionados é possível perceber que a degradação evolui de forma heterogênea ao longo do tempo. A associação inerente ao processo que envolve agentes diversos na ativação dos mecanismos é capaz de provocar diferenças na velocidade de degradação, tanto de forma a aumentá-la como diminuí-la. Aspectos relacionados a orientação da fachada, seu grau de exposição e proteção também contribuem significativamente para a diferenciação da degradação dos revestimentos utilizados (Souza e Bauer, 2025). A condição inicial de desempenho prevista e projeto também pode contribuir para diferenciação da degradação ao longo do tempo. No caso de revestimentos cerâmicos em fachadas a própria argamassa utilizada é capaz de influenciar no comportamento da degradação e no desempenho do sistema e da camada mais externa. Em meados da década de 80 ainda não existiam normas regulamentadoras específicas sobre utilização de argamassas colantes. Atualmente a NBR 13755:2017 determina que, para aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas, deve-se utilizar argamassa colante do tipo AC III, pois ela oferece maior aderência, melhor desempenho frente a intempéries, resistência à ação de agentes agressivos externos e melhor comportamento frente a movimentações do edifício. Conclui-se que condições de desempenho atreladas aos materiais constituintes das camadas de revestimento, se comportam de formas distintas no

4 METODOLOGIA

O presente estudo visa contribuir com a temática de degradação no Projeto “Degradação, mensuração e modelação”, do programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC/UnB, focando na mudança do comportamento evolutivo da diferenciação do processo de degradação em fachadas com revestimento cerâmico. Com o decorrer do tempo a degradação passa a ser influenciada por fatores distintos e sinérgicos entre si, de forma distinta do que ocorre no início do processo de degradação. Neste capítulo são enfatizadas as etapas metodológicas adotadas, bem como a descrição dos procedimentos realizados em cada uma delas.

A degradação das fachadas de edifícios é uma questão relevante no contexto da manutenção e preservação desses elementos, impactando diretamente no seu desempenho e vida útil. O que se observa é que a abordagem da degradação é carente de um enfoque sobre a evolução da degradação. Normalmente as causas da degradação são apontadas como as mesmas do início ao final do processo. Observa-se que faltam ainda algumas explicações e análises mais detalhadas, principalmente no que se refere a características do processo, quando ele se inicia e como é o comportamento em idades mais avançadas e degradação mais severa. Falta uma análise quantitativa dessa evolução e a partir disso estabelecer padrões de comportamento. É preciso eleger indicadores capazes de diferenciar essa evolução da degradação ao longo do tempo, discutindo as razões e relações existentes entre os mecanismos, agentes e anomalias que fazem com que a degradação evolua. Se propõem nesta investigação estudar o processo de degradação de fachadas com revestimento cerâmico, identificando as modificações que ocorrem ao longo do processo de degradação. Dentre as modificações envolvidas no processo da degradação é possível pontuar a intensidade dos agentes, os mecanismos envolvidos, a gravidade e extensão das anomalias.

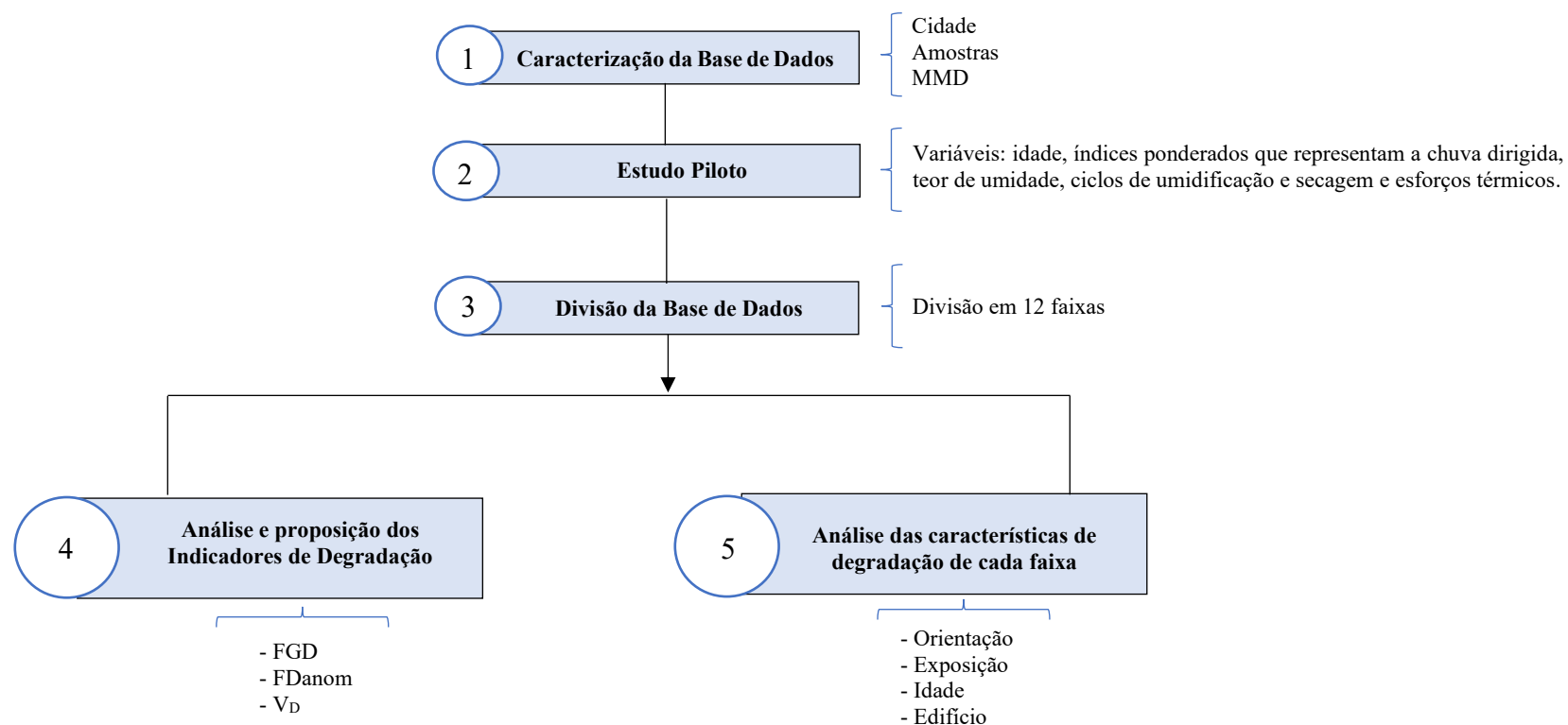
As modificações que ocorrem ao longo do processo de degradação baseiam em algumas perguntas e questionamentos que balizam este estudo, inclusive na definição das etapas adotadas e seguidas.

- O primeiro questionamento se refere ao fato de a evolução da degradação gerar diferenciações críticas em relação à própria degradação, agentes, mecanismos e anomalias.
- Outro ponto de análise se refere aos indicadores amplamente utilizados no estudo da degradação, se conseguem captar as diferenças que ocorrem ao longo do processo.

- Ao analisar as anomalias resultantes da degradação é importante considerar que elas podem se diferenciar no decorrer do processo, especialmente em função dos agentes e mecanismos de degradação.

Para investigar os pontos mencionados que são relacionados com o processo de degradação é necessário abordar a análise da degradação em diferentes níveis. Para alcançar os objetivos propostos a metodologia do estudo é dividida em etapas, como representado a seguir na Figura 20.

Figura 20 - Organograma de etapas metodológicas



A seguir estão listadas as etapas adotadas e suas breves descrições. Nos itens sequenciais cada uma delas é apresentada de forma detalhada.

I - Caracterização climática da cidade de Brasília -DF e da base de dados;

Na etapa I é feita a caracterização da base de dados, pontuando as características específicas como clima da cidade e a tipologia construtiva dos edifícios constituintes. São elencadas também informações sobre a configuração das amostras e o método MMD. É realizada uma análise descritiva dos dados constituintes da base de dados.

II - Estudo piloto;

Para a etapa II é feito um estudo piloto com a aplicação de modelo quadrático com intuito de observar o comportamento da degradação ao longo dos anos. A aplicação do modelo visa observar tendências da degradação com o tempo e os possíveis fatores responsáveis pelo comportamento das amostras constituintes da base de dados.

III - Divisão da base de dados em 12 faixas de degradação;

Na etapa III é realizada a divisão da base de dados com o intuito de compreender com mais detalhes a degradação e ter mais sensibilidade de como o processo ocorre ao longo do tempo. São consideradas 12 faixas que permitem uma análise aprofundada dos indicadores de degradação, das anomalias resultantes, bem como dos mecanismos e agentes envolvidos.

IV - Análise e proposição dos indicadores de degradação;

Já na etapa IV, considerando 12 faixas amostrais, iniciam-se os cálculos dos indicadores de degradação como FGD e FDanom, bem como proposição de um novo indicador que contempla a velocidade da degradação (V_D). Busca-se ainda, mais detalhes da degradação por meio da associação dos grupos de anomalias a diferentes níveis de degradação.

V - Análise das características de degradação para cada faixa;

A etapa V é uma análise das características de cada faixa que são capazes de influenciar o processo de degradação. Com observação às 12 faixas adotadas no estudo são levantadas as principais tendências do que ocorre com a degradação ao longo do tempo.

O estudo parte de dados que foram levantados em inspeções de estudos anteriores dentro do DMM *Project* e conta com uma segmentação das amostras de forma a identificar como a degradação se comporta. As especificações do DMM *Project* estão detalhadas nas etapas metodológicas. Ao se propor um estudo detalhado sobre as fases da degradação, é necessário que se estabeleçam variáveis que facilitem e delimitem o estudo. O conhecimento da influência das variáveis permite melhorar o entendimento do fenômeno de degradação de sistema de revestimento. As variáveis dependentes e independentes estão apresentadas na Tabela 4 e descritas em sequência.

Tabela 4 - Variáveis da pesquisa

Tipo	Variáveis
Independente	Idade
	Orientação
	Grau de exposição
	Grupos de anomalias
Dependente	Indicadores de degradação (FGD, FDanom, V_D)

Para as variáveis independentes, se tem como proposta para a pesquisa a idade, a orientação, o grau de exposição e as anomalias. A idade possibilita caracterização da velocidade de degradação de forma mais minuciosa e detalhada. Em relação à orientação, adota-se: Norte, Sul, Leste e Oeste. Com base nas particularidades da base de dados utilizada no estudo, o grau de exposição também é uma variável importante nas análises. Tem como referência, principalmente, a radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano para as quatro orientações consideradas no estudo. São considerados ainda os grupos de anomalias resultantes do processo de degradação em fachadas de revestimento cerâmico. Com tais variáveis, consideradas mais específicas, pretende-se conseguir avanços nos estudos sobre a diferenciação do processo de degradação. É possível que em algumas amostras o maior valor de FGD não corresponda a idades mais avançadas ou maior grau exposição a agentes climáticos. Em muitos casos a associação do processo evolutivo da degradação com o FGD, na maioria das vezes não é direta.

Como variáveis dependentes, o estudo considera os indicadores de degradação. Esses indicadores são considerados respostas ou resultados que são afetados por mudanças nas variáveis independentes. Os indicadores de degradações considerados são o FGD, FDanom e velocidade de degradação (V_D).

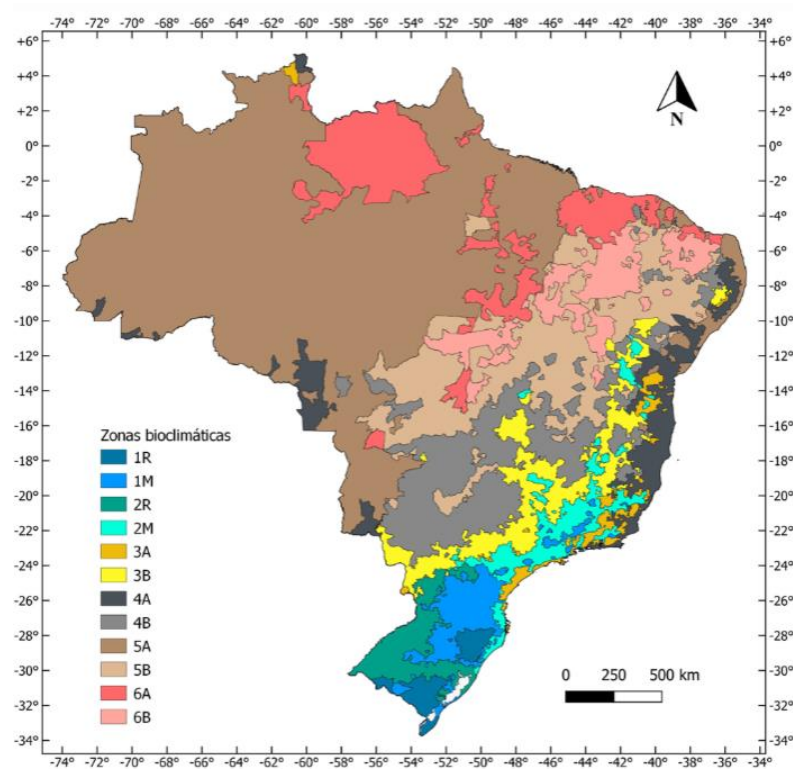
Como a degradação é evolutiva com o tempo, o presente estudo propõe uma diferenciação da degradação em fases. Com intuito de limitar cada fase, as amostras são divididas em um maior número de faixas. Ao longo do processo de degradação, as variáveis também sofrem mudanças. São analisadas as mesmas variáveis, porém, com a evolução do processo elas passam a ter comportamentos distintos. Por exemplo, ocorrem variações na idade, grau de exposição e grupos de anomalias mais recorrentes.

4.1 Características climáticas da cidade de Brasília

Toda a amostra utilizada no presente estudo faz parte de edifícios localizados na cidade de Brasília. A cidade tem como característica edifícios residenciais isolados uns dos outros, com altura máxima de seis pavimentos e pilotis, responsável por permitir circulação de pessoas pelo térreo da edificação. As fachadas apresentam certa semelhança e padronização nos elementos arquitetônicos. O sistema de vedação vertical empregado no Distrito Federal na maioria das edificações é composto por alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento em cerâmicas (Amorim e Flores, 2005).

Conforme ABNT NBR 15220-3 (2024) é feita uma divisão do território brasileiro em doze zonas bioclimáticas (Figura 21), relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada uma destas zonas, existe um conjunto de recomendações técnicas e construtivas que otimizam o desempenho técnico das edificações, a partir de sua melhor adequação climática. Brasília está situada na zona bioclimática 3B, considerada mista e seca. A cidade possui um período seco e um período chuvoso bastante característicos, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). Essa comparação por períodos mostra-se como um recurso viável para analisar a representatividade dos arquivos climáticos. Como período chuvoso se tem os meses mais quentes de outubro a março. No período seco, correspondente aos meses de abril a setembro, é comum baixa nebulosidade e são os meses com maiores índices de focos de queimadas no Distrito Federal. No período caracterizado como seco os índices de chuva dirigida são muito baixos (Zanoni, *et al.* 2015). Em relação a frequência de ocorrência dos ventos, constata-se que no período seco, predominam principalmente os ventos na direção Leste, enquanto no período chuvoso, há uma mudança na direção dos ventos, passando a predominar os ventos incidentes na direção Noroeste, seguida pela Norte.

Figura 21 - Classificação do Brasil em zonas bioclimáticas



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2024).

Para uma caracterização detalhada e precisa do clima local é importante conhecer a distribuição ao longo do ano de dados climáticos relevantes para os edifícios, como a radiação solar, a temperatura do ar, a precipitação e a umidade relativa (Feilden, 2003). Sendo consideradas para a presente pesquisa as variáveis de radiação solar e a chuva dirigida.

As Figuras 22 e 24 indicam valores de chuva dirigida acumulada e radiação solar direta média ao longo do ano em Brasília obtidos por simulação higrótérmica (Andrade, 2022). Ao observar os valores da radiação e da chuva dirigida, fica evidente que existem dois períodos distintos e bem definidos: chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro).

Na Figura 22, pode ser observado o comportamento por orientação da chuva dirigida acumulada ao longo do ano. A incidência de chuva varia ao longo dos doze meses do ano. Em termos anuais, as fachadas Norte e Oeste são as que recebem maior incidência de chuva dirigida. Tal fato ocorre pela direção dos ventos predominante durante as precipitações que se concentram no período chuvoso, entre os meses de outubro e março. No período seco, as chuvas dirigidas que ocorrem são predominantes nas orientações Sul e Leste e em um volume muito menor em comparação aos meses que vão de abril a setembro (Tabela 5). A apresentação dos dados nas quatro orientações (N, S, L, O), evidenciou que na fachada Norte o valor acumulado

é consideravelmente maior que nas demais orientações analisadas. Em sequência os demais valores observados em escala decrescente foram para as fachadas Oeste, Leste e Sul, respectivamente.

Figura 22 - Valores de chuva dirigida acumulada ao longo do ano

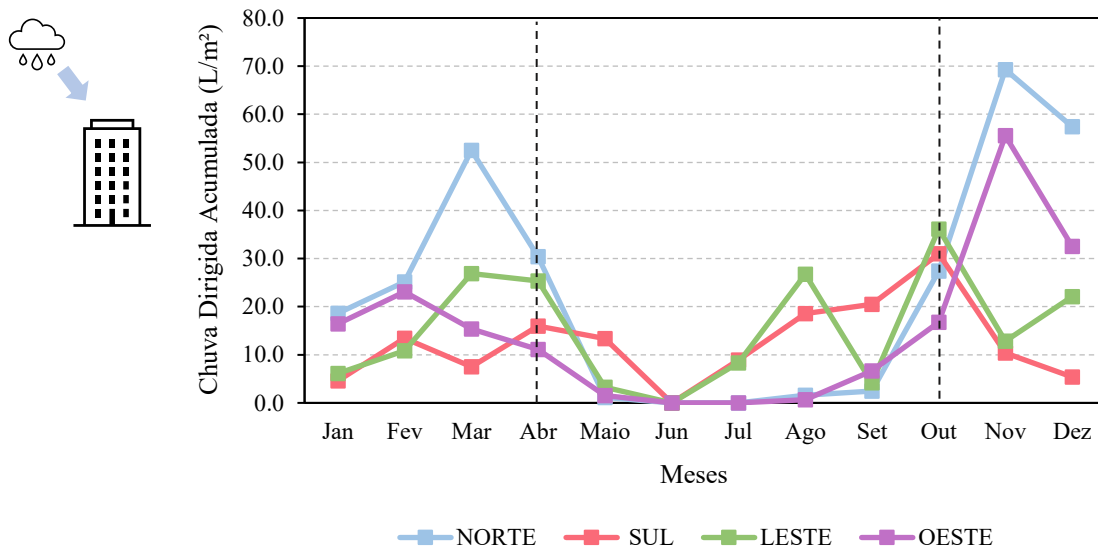
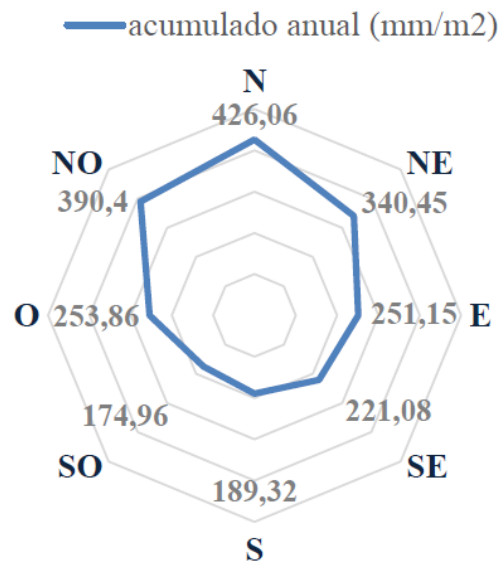


Tabela 5 - Acumulado mensal de chuva dirigida ao longo do ano

Meses	Norte	Sul	Leste	Oeste
Jan	18,6	4,6	6,1	16,5
Fev	25,2	13,4	10,8	23,1
Mar	52,5	7,5	26,9	15,3
Abr	30,4	16,0	25,3	11,1
Mai	1,2	13,3	3,3	1,6
Jun	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul	0,0	8,9	8,3	0,0
Ago	1,6	18,6	26,8	0,6
Set	2,4	20,5	4,2	6,7
Out	27,4	31,0	36,1	16,8
Nov	69,3	10,4	12,8	55,5
Dez	57,5	5,4	22,1	32,5
Total	286,1	149,6	182,8	179,8
Total (%)	35,84%	18,74%	22,90%	22,52%

Com base no arquivo climático da série 2001-2013 do INMET, com dados horários registrados pela estação automática de superfície A001- Brasília-DF, as orientações de fachada onde ocorrem as maiores incidências de chuva dirigida ao longo do ano são as fachadas Norte e Noroeste, como pode ser observado na Figura 23 (Zanoni, 2015).

Figura 23 - Chuva Dirigida



Fonte: Zanoni, 2015.

Ao analisar a radiação solar constata-se que a fachada Norte recebe alta incidência de radiação solar direta principalmente no período entre abril e setembro, enquanto a fachada Sul é a que recebe menos radiação ao longo do ano. Já as fachadas Leste e Oeste recebem radiação solar em taxas similares ao longo dos 12 meses do ano (Figura 24 e Tabela 6). A orientação Sul entre os meses de março e setembro quase não recebe radiação solar, enquanto a mesma situação de baixa radiação é observada em Norte nos meses de outubro a fevereiro. Diante das observações de incidência de chuva dirigida no período chuvoso e maior radiação solar ao longo do ano, a fachada Norte é a orientação que mais é atingida por esses fatores, que são alguns dos responsáveis por desencadear o processo de degradação ao longo da vida útil dos elementos e sistemas. Os comportamentos de degradação atrelados à orientação Norte podem ser justificados para além dos agentes de degradação atuantes, como também pelos mecanismos e até mesmo pelo efeito cumulativo ao longo dos anos, que podem culminar no surgimento e desenvolvimento de anomalias.

Figura 24 - Radiação solar total média mensal ao longo do ano

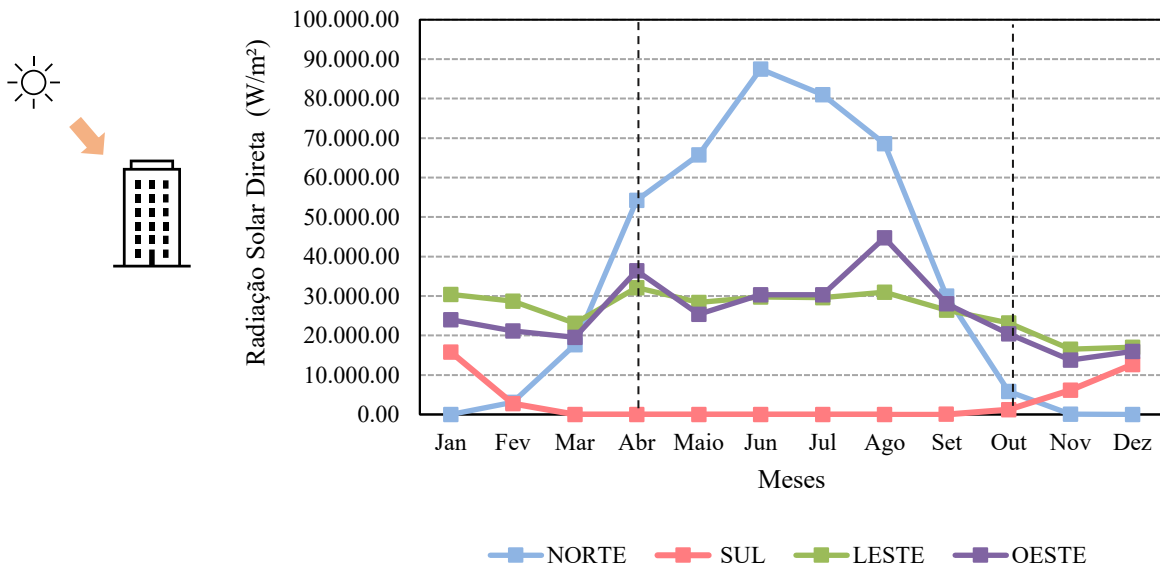


Tabela 6 - Média mensal da radiação solar direta observada ao longo do ano

Meses	Norte	Sul	Leste	Oeste
Jan	0,00	15.822,35	30.386,25	23.961,11
Fev	3.097,99	2.760,14	28.741,07	21.199,39
Mar	17.684,93	5,47	23.091,76	19.501,83
Abr	54.266,47	0,00	32.145,03	36.385,05
Mai	65.791,46	0,00	28.379,27	25.347,51
Jun	87.495,54	0,00	29.783,53	30.324,42
Jul	81.026,17	0,00	29.625,68	30.319,94
Ago	68.640,66	0,00	31.011,44	44.732,11
Set	30.009,05	1,47	26.414,99	28.017,64
Out	5.852,94	1.192,08	23.229,00	20.472,56
Nov	53,46	6.134,73	16.542,69	13.781,67
Dez	0,00	12.635,13	17.040,01	15.998,00
Total	413918,7	38551,4	316390,7	310041,2
Total (%)	38,36%	3,57%	29,33%	28,74%

Para cada orientação é atribuído um grau de exposição com base na incidência de agentes climático como radiação solar e chuva dirigida. Devido a incidência dos agentes de degradação, especialmente a radiação solar e a chuva dirigida, ao comparar as quatro orientações cardeais é notório o fato dos maiores valores serem observados para a orientação Norte, por isso considerada como 100%. Devido ao comportamento observado as fachadas com

orientação Norte são classificadas na condição de Alta Exposição. Ao se ponderar que a fachada Norte apresenta maior exposição, é possível afirmar que pode ocorrer uma maior potencialidade para a degradação nessa condição, pela maior exposição aos agentes (Piazzarollo, 2019; Souza, 2019; Mota, 2021; Andrade, 2022; Souza *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2024). Além disso, a classificação considera a maior degradação medida pelo FGD e maior quantidade de casos de anomalias e sua área. A partir dela, são elencados percentuais de incidência para as demais orientações, como apresentado na Tabela 7. Com o somatório da incidência dos dois agentes considerados, é proposto um índice de exposição, que classifica as orientações analisadas em grau de exposição alto, baixo e médio.

Tabela 7 - Índice de exposição por orientação

Orientação	Norte	Sul	Leste	Oeste
Chuva Dirigida	100,00 %	52,29 %	63,89 %	62,84 %
Radiação Solar	100,00 %	62,99 %	90,38 %	89,76 %
Média	100,00 %	57,64 %	77,14 %	76,30 %
Índice	1,00	0,57	0,77	0,76
Grau de Exposição	Alto	Baixo	Médio	Médio

4.1.1 Edifícios de estudo

As amostras de fachadas investigadas fazem parte da base de dados que está inserida no projeto Degradação, ensuração e modelação (DMM) dentro da linha de pesquisa Desempenho, Vida Útil, Degradação e Patologia no Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) na Universidade de Brasília (UnB). A amostra de estudo é composta por edifícios situados em Brasília - DF, que por características do conjunto arquitetônico e urbanístico são tombadas pela Unesco. É possível destacar como características da cidade localizada na região central do Brasil, topografia plana com suaves ondulações.

Na cidade de Brasília é possível pontuar também uma certa padronização da tecnologia construtiva. A capital passou por uma evolução tecnológica na qualidade dos materiais e mão de obra ao longo dos anos (Moura *et al.*, 2014; Bauer *et al.*, 2015). As fachadas possuem elementos semelhantes como cobogós e as empenas laterais cegas e o sistema de

fechamento vertical no que diz respeito à vedação, emprega blocos cerâmicos com revestimento em cerâmica com ou sem acabamento em tinta, são as mais comumente utilizadas (Amorim e Flores, 2005; Souza *et al.*, 2018). Em relação aos edifícios pontua-se que seguem um certo padrão arquitetônico e possuem 6 andares mais pilotis com finalidade de uso residencial. Geralmente tais edifícios são alongados e implantados isoladamente uns dos outros (Figura 25), cujo sistema estrutural é em concreto armado e as vedações em alvenaria de tijolos cerâmicos.

Figura 25 - Exemplo de edifícios em Brasília - DF



4.1.2 Método de Mensuração da Degradação

A quantificação da degradação utiliza o Método de Mensuração da Degradação (MMD) desenvolvido pelo Projeto DMM no PECC-UnB. Neste método, as quantificações são baseadas no estudo de anomalias e regiões degradadas.

Existem vários métodos que quantificam a degradação de toda a fachada (Galbusera *et al.*, 2014; Magos *et al.*, 2016; Prieto *et al.*, 2018). Na pesquisa utiliza-se o MMD que possui uma particularidade da amostragem dividida em amostras de fachada. O uso de amostras de fachada permite investigações mais específicas como avaliar e definir zonas preferenciais de degradação (Piazzarollo, 2019). Além disso, permite observar a variabilidade da degradação ao longo da fachada e comparar diferentes comportamentos de elementos arquitetônicos - fachada contínua, empenas, sacadas e escadas (Bauer *et al.*, 2020).

O método para a obtenção de dados referente à inspeção de edifícios em condições reais de uso e de exposição localizados na cidade de Brasília proposto por Silva (2014), permite quantificar a degradação de fachadas, e é usado como referência para o estudo proposto. A base de dados utilizada neste estudo foi desenvolvida pelo DMM *Project*, contendo dados de

amostras de diferentes idades, características e graus de exposição a agentes, bem como diferentes orientações cardeais, como exemplificado na Tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo de edifício da base de dados

Edifício 13 - Asa Norte				
Idade (anos)		5		
Nº de pavimentos		19		
Amostras	Orientação	Absortância	Dimensão da pastilha	FGD
A13.1	Leste	48,90	10 x 10	0,006
A13.2	Oeste	48,90	10 x 10	0,007
A13.3	Norte	48,90	10 x 10	0,014
A13.4	Sul	48,90	10 x 10	0,014

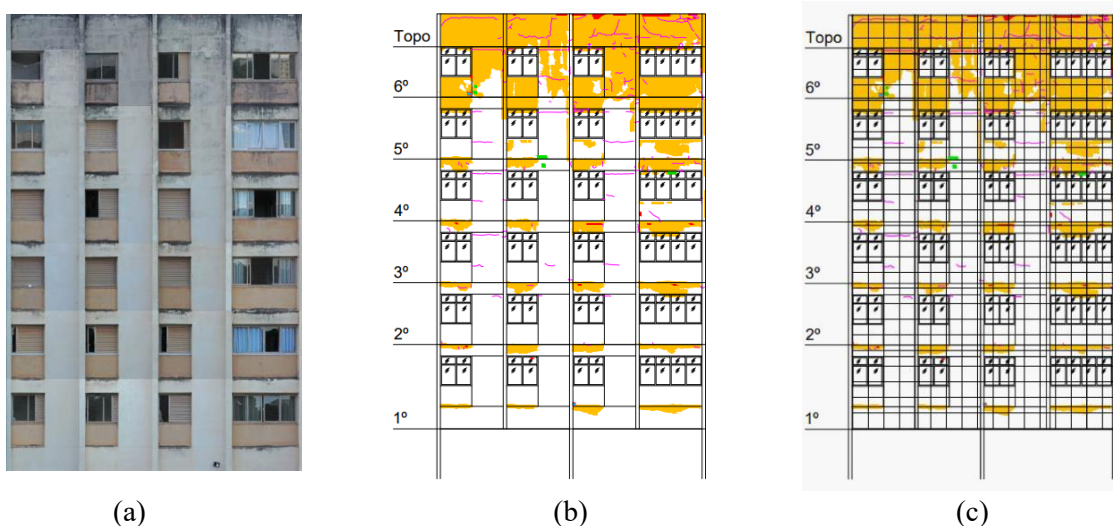
Dos edifícios que compõem a base de dados, cada uma de suas fachadas são decompostas em amostras, e cada amostra é quantificada de forma individualizada. Alguns critérios básicos são considerados para a configuração que cada amostra. Em relação a área da amostra, ela deverá estar entre 50 m² e 300 m², necessitando que seja em um mesmo plano. Quando acontecem mudanças de plano ou até mesmo de orientação, já constituem uma outra amostra. Além disso, Piazzarollo (2019) e Santos (2018) destacam que por obrigatoriedade as amostras devem estar em um mesmo elemento de arquitetura, portanto, não sendo possível posicionamento em dois ou mais elementos de arquitetura como fachada, empena, caixa de escadaria e torre. Na Figura 26 está apresentado como exemplo um dos edifícios da base de dados decomposto em cinco amostras individualizadas identificadas como A1, A2 e A3.

Figura 26 - Subdivisão de uma fachada em amostras individuais



Para quantificar a degradação pela mensuração da área degradada se faz sobreposição de uma malha com unidades nas dimensões de 0,50 x 0,50 m ao mapeamento da amostra, em escala, como pode ser observado na Figura 27. Após o processo de sobreposição da malha, são definidos os andares e as zonas constituintes da fachada e são quantificados os detalhamentos para cada amostra. Em seguida é feita a quantificação das unidades de malha que apresentam degradação. Sobre a definição da orientação cardeal de cada amostra, são seguidas as definições aplicadas em investigações já realizadas (Garrido; Paulo; Branco, 2012; Silva, 2014; Souza, 2016; Santos, 2018). São consideradas as quatro principais orientações cardiais Norte, Sul, Leste e Oeste. Cada quadrante compreende os intervalos de azimutes: Norte entre 315° e 44°, Leste entre 45° e 134°, Sul entre 135° e 224°, Oeste entre 225° e 315°.

Figura 27 - Detalhes da definição da amostra: (a) obtenção da imagem digital e ortogonalização, (b) esboço de áreas degradadas e (c) representação da malha.



4.2 Estudo Piloto

O estudo piloto realizado tem como objetivos observar o comportamento da degradação ao longo do tempo. Possibilitando a observação de possíveis distinções de fases e convergências com os agentes envolvidos no processo evolutivo da degradação.

O modelo quadrático aplicado no estudo desenvolvido por Andrade (2022), apresenta R^2 igual a 0,85 e leva em consideração variáveis além da idade das edificações, como índices ponderados que representam a chuva dirigida, teor de umidade, ciclos de umidificação e secagem e esforços térmicos. Cada fachada é simulada através do Wufi para um ano de solicitação, e assim se obtém as variáveis de entrada do modelo. Conforme modelo

desenvolvido é possível definir a evolução do FGD em função dessas variáveis e também da idade (Andrade, 2022; Andrade *et al.*, 2022). Ressalta-se que em uma análise ampla sobre agentes e mecanismos, os que mostraram significância em explicar a degradação, são os ponderados na equação do modelo, que é apresentada na Equação 2.

$$FGD_{quadrática} = -0,00471 - 0,000273Ip_{C.D}.I^2 + 0,000114Ip_{T.U}.I^2 + 0,000103 Ip_{E.T.F}.I^2 \quad (2)$$

Onde:

$FGD_{quadrática}$ = Fator Geral de Degradação determinado na modelação quadrática

$Ip_{C.D}$ = Índice ponderado da chuva dirigida

$Ip_{T.U}$ = Índice ponderado do teor de umidade

$Ip_{E.T.F}$ = Índice ponderado dos esforços térmicos segundo Fiorito

I = Idade da edificação em anos

Com o modelo pode-se identificar o estado atual de degradação das fachadas utilizando a Equação 2, estimar em qual idade as fachadas apresentaram condições severas de degradação e também quando alcança o limite de vida útil. Na equação do modelo a variável representativa da idade é isolada para cálculo das idades previstas em cada nível de gravidade de degradação, considerando os valores de FGD e os valores dos índices ponderados.

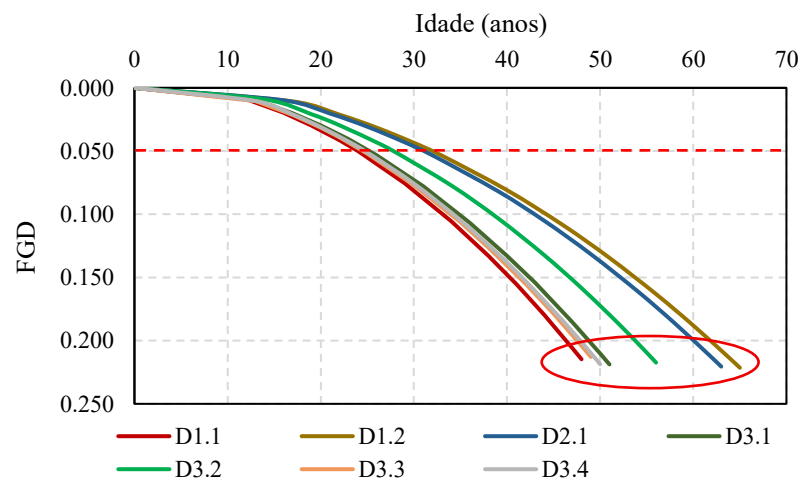
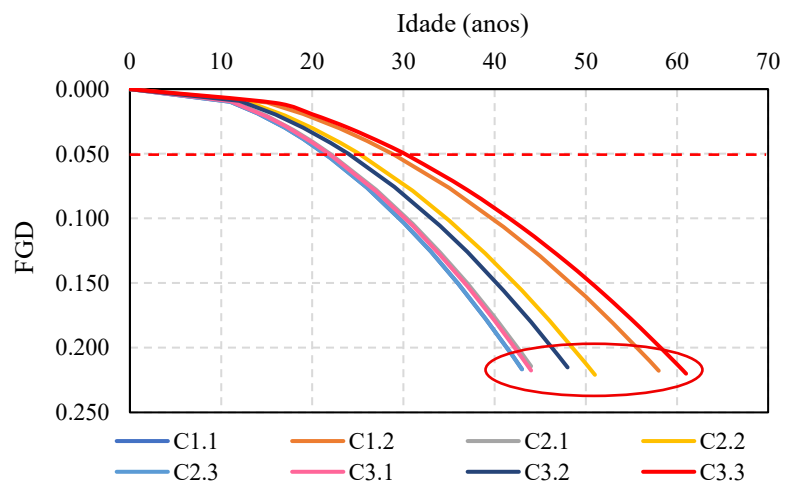
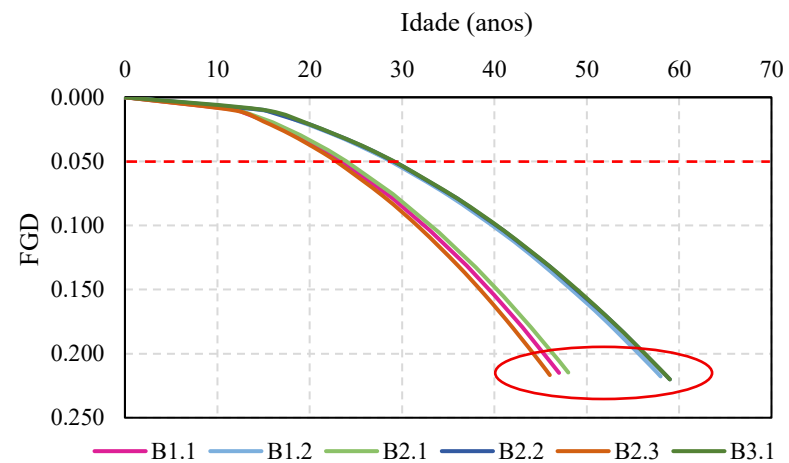
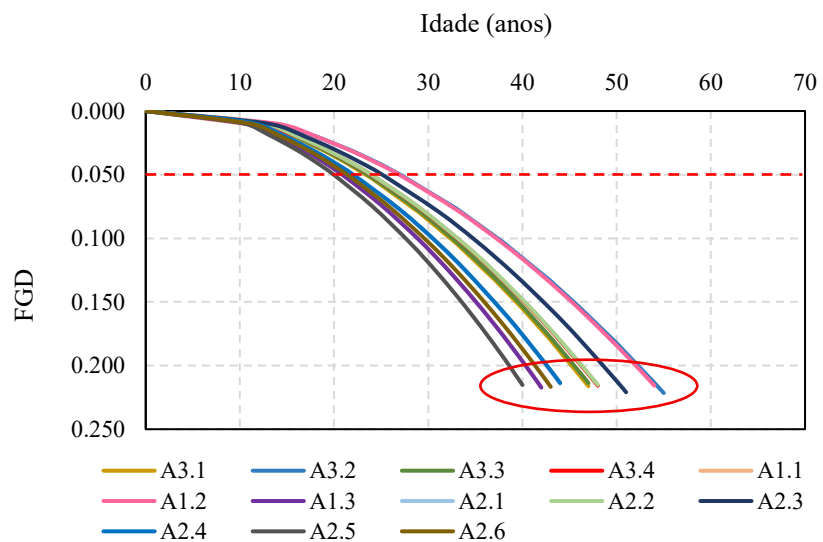
O modelo quadrático proposto por Andrade (2022) é aplicado em amostras de 12 edifícios. Cada um dos edifícios é dividido em amostras, totalizando 34 amostras, como pode ser observado de forma detalhada na Tabela 9. Na Tabela também estão pontuadas a orientação e idade de cada uma das amostras utilizadas para a aplicação do modelo quadrático de degradação. Os edifícios são agrupados em A, B, C e D em função das suas idades. O grupo A corresponde a edifícios entre 10 e 20 anos; B com idades de 20 a 30 anos; C agrupa os edifícios com idades entre 30 e a 40 anos e D é o grupo dos edifícios com mais de 40 anos.

Tabela 9 - Informações de orientação e idade de cada amostra

Edifícios	Amostras	Orientação	Idade (anos)	FGD
1	A1.1	Noroeste	13	0,017
	A1.2	Sudeste	13	0,001
	A1.3	Nordeste	13	0,037
2	A2.1	Nordeste	17	0,015
	A2.2	Leste	17	0,030
	A2.3	Sudeste	17	0,031
	A2.4	Sudoeste	17	0,029
	A2.5	Oeste	17	0,029
	A2.6	Noroeste	17	0,016
3	A3.1	Nordeste	19	0,017
	A3.2	Sudeste	19	0,019
	A3.3	Sudoeste	19	0,036
	A3.4	Noroeste	19	0,012
4	B1.1	Leste	24	0,018
	B1.2	Sul	24	0,014
5	B2.1	Norte	28	0,059
	B2.2	Leste	28	0,108
	B2.3	Oeste	28	0,092
6	B3.1	Leste	27	0,049
7	C1.1	Norte	35	0,175
	C1.2	Sul	35	0,076
8	C2.1	Nordeste	36	0,125
	C2.2	Sudeste	36	0,098
	C2.3	Noroeste	36	0,135
9	C3.1	Norte	38	0,141
	C3.2	Leste	38	0,154
	C3.3	Sul	38	0,044
10	D1.1	Norte	41	0,129
	D1.2	Sul	41	0,059
11	D2.1	Sul	43	0,105
12	D3.1	Nordeste	43	0,119
	D3.2	Sudeste	43	0,144
	D3.3	Sudoeste	43	0,164
	D3.4	Noroeste	43	0,168

Para cada amostra investigada é possível visualizar o comportamento evolutivo da degradação ao longo do tempo de forma individualizada, bem como comparar a tendência de degradação de cada uma delas, conforme Figura 28. Para fins de melhor visualização as amostras estão divididas em função da idade das edificações. Por meio da curva que representa a degradação ao longo dos anos para cada amostra é possível identificar quando ultrapassam o valor de vida útil ($FGD = 0,05$) e com qual idade atingem valores elevados de degradação (acima de 0,200).

Figura 28 - Tendência de degradação com aplicação do modelo quadrático para edifícios do grupo A, B, C e D



Antes do limite de vida útil e até por volta de 20 anos as amostras se comportam de maneira semelhante, independe da edificação. Entre 20 e 30 anos quando grande parte das amostras ultrapassam o limite de vida útil, comportamento distinto é observado.

As amostras atingem e ultrapassam valores elevados de degradação ($FGD > 0,200$) em idades diferentes. As menores idades observadas são por volta de 40 anos, enquanto outras atingem alto grau de degradação após 60 anos. A diferenciação da degradação ao longo do tempo pode estar associada a diversos fatores como ação de agentes e mecanismos e a sinergia entre eles. Para o grupo de edifícios D por exemplo, nota-se que as amostras que ultrapassam o valor de FGD de 0,200 com idade acima de 60 anos são D1.2 e D2.1, cuja orientação é Sul. A orientação Sul tem por característica menor incidência de radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano na cidade de Brasília-DF.

Pelas curvas de degradação apresentadas no estudo piloto fica evidente que existe diferenciação no processo de degradação. A diferenciação da degradação ao longo do tempo é influenciada por fatores como a orientação, grau de exposição, absorvância da fachada ou até mesmo em função dos próprios materiais e técnicas utilizados no processo construtivo. Em algumas situações específicas, a depender das características locais, o microclima ao redor da edificação pode também influenciar na velocidade de degradação. Na Tabela 10 é possível observar com detalhe qual a idade de vida útil de cada amostra ao ultrapassar o valor de FGD de 0,05 e também a idade em que a amostra ultrapassa o valor de FGD de 0,200. É perceptível que mesmo amostras de um mesmo edifício apresentam idades distintas nos limites considerados.

Tabela 10 - Limite de vida útil das amostras

Edifícios	Amostras	Limite de vida útil (anos)	Limite que alcança FGD de 0,2 (anos)
1	A1.1	21	41
	A1.2	27	53
	A1.3	21	41
2	A2.1	22	43
	A2.2	24	47
	A2.3	25	50
	A2.4	22	43
	A2.5	20	39
	A2.6	22	42
3	A3.1	24	46
	A3.2	27	54
	A3.3	24	46
	A3.4	24	47
4	B1.1	24	46
	B1.2	29	57
5	B2.1	24	47
	B2.2	30	58
	B2.3	23	45
6	B3.1	30	58
7	C1.1	22	42
	C1.2	29	57
8	C2.1	22	43
	C2.2	25	50
	C2.3	22	42
9	C3.1	22	43
	C3.2	24	47
	C3.3	31	60
10	D1.1	24	47
	D1.2	33	64
11	D2.1	32	62
12	D3.1	26	50
	D3.2	28	55
	D3.3	25	48
	D3.4	25	49

A aplicação do modelo quadrático em amostras de fachadas com revestimento cerâmico na cidade de Brasília - DF evidencia que a degradação de uma fachada e seus elementos deve ser estudada detalhadamente, pela própria complexidade do fenômeno, mas também pelo número de fatores que influenciam em tal processo. Conhecer os fatores e variáveis envolvidas na evolução da degradação permite modelações mais precisas e próximas da realidade, além de auxiliarem na escolha de medidas corretivas de forma mais assertiva com as necessidades de cada fachada. Além de medidas de acordo com as necessidades e particularidades, é possível ainda planejar as intervenções periodicamente.

Através do estudo piloto é possível identificar diferenças ao longo do processo evolutivo da degradação, em cada amostra tem seu comportamento influenciado pela orientação, incidência de agentes, grau de exposição e idade. Cada amostra atinge o limite de vida útil em uma idade, evidenciando um padrão heterogêneo de degradação. Diante do estudo piloto apresentado e suas nítidas diferenças no comportamento da degradação identificadas, a presente pesquisa aplica as etapas metodológicas para a base de dados completa, a fim de delimitar e definir as fases de degradação. A clara identificação de comportamentos diferentes e compreensão do processo de degradação permite medidas práticas de prevenção do surgimento de anomalias precoces e possibilita medidas corretivas através da manutenção programada e assertiva.

4.3 Divisão da base de dados em faixas de degradação

Com finalidade de obter informações mais detalhadas que expliquem o comportamento da degradação das amostras de estudo, a base de dados é segmentada em 12 faixas. A subdivisão adotada é quantitativa e se comporta de maneira crescente. O critério para divisão e separação das amostras foram intervalos baseados nos valores de FGD.

- As cinco primeiras faixas apresentam intervalos menores por apresentarem grande parte das amostras componentes da base e possibilitar maior sensibilidade de investigação.
- Da faixa 6 em diante o intervalo adotado é maior. A última faixa anotada, concentra amostras com $FGD > 0,200$.

Na Tabela 11 é possível observar as 12 faixas, os intervalos de cada uma delas, bem como a quantidade de amostras. Além do que foi pontuado, é estabelecido como critério, número mínimo de amostras por cada faixa, de pelo menos dez amostras.

Tabela 11 - Intervalos de FGD adotados

Faixa	Intervalo de FGD	Quantidade de amostras
1	0,000 a 0,009	81
2	0,010 a 0,019	25
3	0,020 a 0,029	42
4	0,030 a 0,039	19
5	0,040 a 0,049	13
6	0,050 a 0,074	22
7	0,075 a 0,099	10
8	0,100 a 0,124	19
9	0,125 a 0,149	21
10	0,150 a 0,174	12
11	0,175 a 0,199	11
12	> 0,200	10

4.4 Cálculo de Indicadores de Degradação

Existem alguns índices que permitem quantificar a degradação, e que vem sendo utilizados de forma consolidada pelo *DMM Project*. Os indicadores são medidas estimadas da degradação a partir dos dados obtidos com as inspeções em campo. Eles permitem conhecimento e informação para orientar estudos e aplicações relacionadas ao processo de degradação. Alguns indicadores são definidos na análise quantitativa do MMD, como é o caso do FGD e do FDanom.

Diante das observações realizadas ao longo de anos de estudos Bauer *et al.* (2020) sugere uma divisão, considerando quatro principais anomalias, separadas em grupos: descolamento; trincas; juntas e manchas. Os grupos de anomalias, bem como a definição de cada uma delas estão na Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação e agrupamento de anomalias de fachada

Grupo de anomalia	Descrição
1 - Descolamento (D)	Envolve todas as anomalias associadas ao desprendimento de placas da fachada, independentemente da causa (tensão, deformação, deslocamento, falhas na execução, entre outros), e independentemente de como ocorra (na superfície, na base de argamassa, entre outros).
2 - Fissuração (F)	Anomalias de fissuras no revestimento cerâmico, independentemente de sua manifestação e origem, bem como a zona da fachada onde ocorre.
3 - Falhas nas Juntas (J)	Anomalias observadas em qualquer junta da fachada, em qualquer situação tais como: fissuração e remoção do material de enchimento, falhas.
4 - Manchas (M)	Manchas de superfície de qualquer natureza, como eflorescência, umidade, entre outras.

Fonte: Bauer *et al.* (2020).

O Fator de Danos da Anomalia (FD_{Damon}) é utilizado para medir a extensão de uma determinada anomalia (Equação 3). Quanto maior o valor desse indicador, pode-se inferir maior extensão de deterioração da amostra analisada.

$$FD_{Danom} = \frac{A_{an}}{A} \quad (3)$$

Onde:

A_{an}(n): área danificada por uma anomalia do grupo n (m²);

A: área total da amostra da fachada (m²).

O Fator Geral de Degradação (FGD) também é um índice utilizado na Mensuração da Degradação, capaz de considerar a influência e importância de cada tipo de anomalia dentro do processo de degradação. Proposto por Silva (2014) e Souza (2019) no Brasil, é um indicador de degradação específico para as condições reais de exposição e uso de edificações localizadas na cidade de Brasília. Consiste basicamente em calcular a degradação ponderada relacionada aos tipos de anomalias observadas no processo de inspeção. Ele é a relação entre um

determinado grau de degradação, com a pior situação possível. Esse fator possibilita, por meio de uma lista ponderada das anomalias observadas, quantificar a degradação de cada amostra de fachada. Para cálculo do FGD é utilizada a Equação 4, partindo da razão entre a área degradada ponderada por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias e a área de referência. Possibilitando, por exemplo, a comparação de amostras de diferentes edifícios em diferentes graus de degradação, bem como em diferentes elementos arquitetônicos.

$$FGD = \frac{\sum A_{an(n)} \cdot G_{(n)} \cdot RI_{(n)}}{A_t \cdot \sum G_{máx}} \quad (4)$$

Onde:

n: grupo de anomalia (n=1 Descolamento, n=2 Fissuras, n=3 Falha nas Juntas, n=4 Manchas);

A_{an(n)}: área danificada por uma anomalia do grupo n (m²);

G_n: fator de gravidade da anomalia (Tabelas 13 e 14);

RI: fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia (Tabela 15);

A: área total da amostra da fachada (m²);

G_{máx}: soma dos fatores de severidade máxima alcançados pelas anomalias equivalente ao valor de 14.

O fator de gravidade desenvolvido por Souza (2016) e representado pela letra G, possui valores variando de 1 a 4, em uma abordagem semelhante à ISO 15686-2 que discute a influência da degradação na vida útil do edifício. Na Tabela 14 são apresentados os valores de fator de gravidade (G) para cada grupo de anomalias.

Tabela 13 - Descrição das condições de degradação e o fator de gravidade (G)

G	Descrição
1	Boas condições de serviço em que possíveis anomalias não prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema. Não há risco para a segurança de usuários e a manutenção preventiva é sugerida.
2	Presença de anomalias localizadas que prejudicam a funcionalidade, mas não prejudicam a durabilidade e segurança dos usuários. A manutenção preditiva é sugerida para avaliar o desempenho do sistema.
3	Presença generalizada e simultânea de anomalias que prejudicam a funcionalidade, durabilidade e segurança do sistema. Procedimentos de manutenção corretiva são recomendados.
4	Incidência generalizada de anomalias que prejudicam a funcionalidade, segurança e durabilidade, apresentando risco de colapso ou ruína do sistema. Nessa condição, reabilitação ou restauração do sistema é necessária.

Fonte: Bauer *et al.* (2020).

Para a definição do valor G, a Tabela 14 especifica os critérios de acordo com a amostra FD para cada grupo de anomalias. A simples presença de descolamentos ou fissuras já classifica essas anomalias como condição B, em que a manutenção preditiva é sugerida. Adicionando os valores G mais altos para todas as anomalias, tem-se o $G_{máx}$ que corresponde a 14, que na Equação 3 é constante.

Tabela 14 - Critérios para definir o fator de gravidade G

G	FDanom (%)			
	Descolamento	Fissuras	Juntas	Manchas
1	-	-	$FDanom_{(J)} < 10$	$FDanom_{(M)} < 10$
2	$0 < FDanom_{(D)} < 5$	$0 < FDanom_{(T)} < 20$	$10 \leq FDanom_{(J)} < 30$	$10 \leq FDanom_{(M)} < 30$
3	$5 \leq FDanom_{(D)} < 30$	$20 \leq FDanom_{(T)} < 50$	$30 \leq FDanom_{(J)}$	$30 \leq FDanom_{(M)}$
4	$30 \leq FDanom_{(D)}$	$50 \leq FDanom_{(T)}$	-	-

Fonte: Bauer *et al.* (2020).

Já a importância relativa (RI) entre grupos de anomalias é determinada por meio de matrizes de correlação. Para obter o fator RI, utiliza-se a relação entre as anomalias e suas causas e a relação entre as anomalias e como elas afetam o grau de desempenho são analisadas.

Inicialmente, como proposto por Silvestre (2005), as possíveis causas das anomalias são enumeradas e pontuadas de acordo com a relação entre a causa e a existência da anomalia. Souza (2019) desenvolveu em seus estudos uma investigação com matrizes de correlação relacionadas a causas e desempenho que permite a apresentação de valores de RI para fachadas de cerâmica, conforme mostrado na Tabela 15. O estudo realizado evidencia que o descolamento possui o maior valor de IR dentre as anomalias consideradas, atingindo 1,00.

Tabela 15 - Fator de importância relativa (RI) para cada grupo de anomalias

Grupo de anomalia	Descolamento	Trincas	Juntas	Manchas
RI	1,00	0,77	0,28	0,11

Fonte: Bauer *et al.* (2020).

Uma vez que a degradação evolui no tempo, caracterizá-la é importante para explicar fatores envolvidos no seu processo evolutivo. Como outra forma de quantificar a degradação, é proposto neste estudo um índice para a velocidade de degradação. O novo índice numérico permite identificar características de comportamento da degradação das amostras de estudo. O valor calculado considera que a degradação ocorre de forma uniforme ao longo dos anos, conforme Equação 5. A velocidade de degradação pode ser utilizada para caracterizar situações de vida útil reduzida e também na previsão do grau de degradação em idades posteriores.

$$V_D = \frac{FGD}{i} \quad (5)$$

Onde:

V_D : velocidade de degradação;

FGD: fator geral de degradação;

i : idade da amostra em anos.

Os outros indicadores já utilizados amplamente como FGD e FD_{anom} são dados instantâneos, retratando o comportamento em determinados momentos. O novo índice proposto de velocidade de degradação busca caracterizar a intensidade do processo. Uma amostra submetida a determinados agentes e mecanismos tem sua degradação quantificada e com o índice V_D é possível verificar o seu comportamento evolutivo médio em relação ao tempo, prevendo inclusive seu comportamento posterior.

Considerando todas as amostras utilizadas no estudo e o valor de velocidade de degradação de cada uma delas é proposta uma divisão em três intervalos equidistantes, partindo dos valores mínimo e máximo encontrados. As faixas e os valores limites de velocidade de cada uma delas estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Faixas de Velocidade

Faixa de Velocidade	Valores
Baixa	< 0,00260
Média	0,00261 a 0,00520
Alta	> 0,00521

Além dos indicadores de degradação amplamente utilizados e consolidados em outros estudos, a possibilidade de analisar a velocidade de degradação de cada amostra é ferramenta essencial para identificar perfis de comportamento nas 12 faixas adotadas no estudo.

4.5 Análise das características de degradação cada faixa

Com o objetivo de caracterizar o comportamento da degradação em cada uma das 12 faixas são feitas algumas verificações em todas as amostras constituintes das faixas. As verificações estão relacionadas com suas principais características em relação a idade das amostras, a quais edifícios as amostras pertencem, as suas orientações e os grupos de anomalias mais representativos. Além disso, qual o FGD das amostras e principalmente, como se comportam em relação ao indicador de degradação V_D . Na Tabela 17 podem ser visualizados os fatores analisados e as características verificadas em cada um deles. As informações para cada uma das 12 faixas de degradação podem ser consultadas nos Apêndices. Após análise detalhada de cada faixa de degradação com base nos fatores elencados, ainda é feito um rastreamento para identificação de *outliers*.

Tabela 17 - Fatores analisados para cada faixa de degradação

Fatores de análise	Característica
Edifício	nº de pavimentos, absorvência
Idade	mínima, média e máxima
Orientação	grau de exposição
FGD	mínimo, médio e máximo
Anomalias	grupos, anomalias primária e secundária
Velocidade de degradação (V _D)	baixa, média e alta

Explicações e proposições sobre o comportamento evolutivo da degradação e suas particularidades são de extrema relevância para complementação dos estudos realizados nos últimos anos na linha temática do estudo proposto. A proposta final do estudo foca em definir quais são os fatores controladores de cada fase de degradação, o que muda de fato quando ocorre a transição de fases. Com tais definições é possível atuar na prática de maneira assertiva minimizando os possíveis danos que surgem ao longo do tempo com o avanço da degradação dos elementos e sistemas. Além de minimizar danos inevitáveis, conhecer o processo e seus pormenores possibilita atuação eficaz na realização de reparos e manutenções necessárias ao longo da vida útil.

5 RESULTADOS

O estudo de comportamento da degradação busca entender características e tendências de cada faixa analisada no estudo. Com esta abordagem, a investigação traz resultados detalhados da degradação para as 12 faixas de amostras. Neste capítulo são apresentados os resultados referentes à segmentação da base de dados em 12 faixas de estudo (item 7.1) e o cálculo dos indicadores de degradação no item 7.2. Apresenta ainda, no item 7.3, uma abordagem sobre os grupos de anomalias identificados em revestimentos cerâmicos. O item 7.4 apresenta um levantamento completo do comportamento de degradação das 12 faixas de estudo. Em 7.5 é apresentada a investigação dos *outliers* e por fim, no item 7.6 é feita uma análise envolvendo os edifícios que compõe a base de dados.

5.1 Divisão da base de dados em faixas

Com as 12 faixas em que a base de dados é dividida para estudo detalhado da degradação (Tabela 11), é possível observar comportamentos específicos em cada uma delas. O conhecimento de características e tendências permite entendimento do processo de degradação e definição e limitação de suas fases ao longo do tempo.

Um indicador usado como limitador das fases foi o próprio FGD, portanto os valores médio, mínimo e máximo de cada faixa se comportam de forma crescente da faixa 1 até a faixa 12. Os valores e sua apresentação na forma gráfica, podem ser observados na Tabela 18. Com a divisão da base de dados limita pelo valor de FGD é possível observar que apesar de um FGD baixo nas primeiras faixas, até a faixa 5 por exemplo, podem ser encontradas amostras com idades elevadas superiores a 35 anos. O que indica a presença de algumas amostras com idade avançada e pouco degradadas de acordo com o indicador que representa o fator geral de degradação.

Tabela 18 - Valores médios, mínimos e máximos para Idade e FGD de cada faixa

Faixas	Idade (anos)			FGD		
	Idade Média	Idade Mínima	Idade Máxima	FGD Médio	FGD Mínimo	FGD Máximo
F 1	12	5	24	0,003	0,000	0,009
F 2	18	5	35	0,015	0,011	0,019
F 3	17	6	41	0,027	0,020	0,029
F 4	18	9	41	0,033	0,030	0,038
F 5	26	8	41	0,044	0,040	0,049
F 6	35	9	43	0,059	0,050	0,071
F 7	36	18	43	0,091	0,078	0,099
F 8	35	32	43	0,112	0,102	0,124
F 9	38	24	43	0,138	0,125	0,149
F 10	32	35	43	0,161	0,150	0,172
F 11	38	35	43	0,185	0,176	0,198
F 12	38	32	43	0,227	0,204	0,281

Na Tabela 19 é possível observar que as idades encontradas são heterogêneas em cada faixa. Nas faixas iniciais as amostras possuem desde idades baixas como, 5 anos, até mais de 30 anos. Tal variação é responsável pelas amostras estarem mais dispersas mesmo pertencendo a uma mesma faixa de FGD.

Tabela 19 - Idades de amostras encontradas em cada uma das faixas de estudo

Faixa	Idades encontradas (anos)
1	6, 5, 8, 10, 13, 17, 18, 19 e 24
2	5, 6, 8, 10, 13, 19, 24 e 35
3	6, 8, 9, 10, 17, 18, 24, 27, 35 e 41
4	9, 10, 13, 17, 18, 19, 32, 35 e 41
5	8, 9, 10, 19, 27, 32, 35, 36, 38 e 41
6	9, 27, 32, 35, 36, 38, 41 e 43
7	18, 35, 36, 38 e 43
8	32, 35, 36, 38 e 43
9	24, 32, 35, 36, 38 e 43
10	32, 35, 36, 38 e 43
11	35, 36, 38 e 43
12	32, 36, 38 e 43

Com base nos indicadores de degradação FGD e VD algumas considerações podem ser feitas, conforme Tabela 20 que apresenta valores médios de FGD e velocidade de

degradação. No caso do FGD ele aumenta gradualmente o seu valor médio no decorrer das 12 faixas, uma vez que as faixas foram limitadas com base em intervalos deste indicador. Com o aumento da degradação quantificado pelo FGD, também se observa um aumento na velocidade de degradação média, mas esse padrão não é observado nas 12 faixas. Na faixa 6 observa-se um valor de velocidade de degradação média, menor que o valor da faixa 5. A faixa que apresenta esse comportamento distinto corresponde à primeira faixa com intervalo de FGD acima do limite considerado em outros estudos de 0,05.

Tabela 20 - Valores médios dos indicadores FGD e V_D

Faixa	FGD médio	V_D médio
1	0,003	0,00028
2	0,015	0,00125
3	0,027	0,00152
4	0,033	0,00170
5	0,044	0,00147
6	0,059	0,00186
7	0,091	0,00270
8	0,112	0,00323
9	0,138	0,00369
10	0,161	0,00460
11	0,185	0,00486
12	0,227	0,00614

Nas faixas 1 e 2 parte do que é atribuído como degradação de amostras pode ser justificado pelo fato de que em muitas situações as primeiras anomalias observadas podem estar atreladas a problemas de projeto, execução e até mesmo aos materiais utilizados. A orientação Norte, que tem condição de maior exposição à radiação solar direta e chuva dirigida não é observada em fases nas primeiras faixas de análise. Por outro lado, nas faixas 9, 11 e 12, que correspondem a uma degradação severa, são predominantes amostras de orientação Norte e classificadas como alto grau de exposição. As demais faixas, consideradas intermediárias, possuem exposição baixa e média e correspondem a intervalos em que a degradação está se propagando. Na propagação da degradação considera-se que as anomalias estão evoluindo e afetando áreas maiores. A depender da gravidade, operações de manutenção e reparos já podem apresentar custos elevados.

Diante da heterogeneidade observada na degradação e das numerosas variáveis envolvidas não é possível atribuir aos comportamentos identificados nas 12 faixas, o grau de exposição como controlador ou responsável pelas características do processo em estudos. A exposição interfere ao fazer uma análise mais ampla, envolvendo variáveis como a idade. Ressalta-se que a análise leva em conta um universo de dados e que o comportamento versa sobre uma tendência geral observada a partir de edifícios distintos que apresentam particularidades e situações específicas desde a concepção dos projetos, execução e tecnologia construtiva empregada.

Em relação às idades das amostras, a idade máxima se comporta de forma crescente, porém, as idades média e mínima não seguem o mesmo padrão. As idades máximas médias de cada uma das 12 faixas apresentam valores próximos, inclusive nas faixas iniciais em que a degradação medida em que o FGD é menor. Em relação às idades mínimas médias, é possível perceber que seus valores aumentam em função da faixa de análise. Observando os valores apresentados na Tabela 21 e representados na Figura 29 é possível inferir por exemplo, que na faixa 10, apesar da idade média de 32 anos, a degradação é superior a faixas com idades médias de 35 e 36 anos. Diante do comportamento observado, é pertinente pontuar que nem sempre uma idade elevada apresenta taxas de degradação também elevadas, não sendo grandezas diretamente proporcionais em todas as circunstâncias. Tal observação evidencia que elevada degradação não necessariamente tem relação com idade elevada, o que é indicativo de outros fatores envolvidos na degradação para além da idade. Em várias faixas de estudo existem *outliers* com idades maiores e menores que a tendência central das amostras. Diante dos diversos fatores, mecanismos e sinergias existentes no processo de degradação os *outliers* também são objeto de investigação.

Observando as idades e suas variações em cada uma das 12 faixas, na Tabela 21 é possível consultar a amplitude de idades. A partir da faixa 7 claramente há uma redução da amplitude de idades. As idades iniciais com amplitude maior indicam que quando as amostras ainda não atingiram o limite de vida útil há uma variação maior de idades, e que algumas amostras com elevada idade apresentam baixa degradação. Tal comportamento pode ser atrelado ao fato do nível de exposição ou até mesmo grau de proteção de uma determinada fachada. Com o avanço da degradação considerando as últimas faixas da divisão, a amplitude menor indica que a degradação elevada de fato atinge um grupo de amostras com idades maiores.

Figura 29 - Valores médios, mínimos e máximos para idade em cada faixa

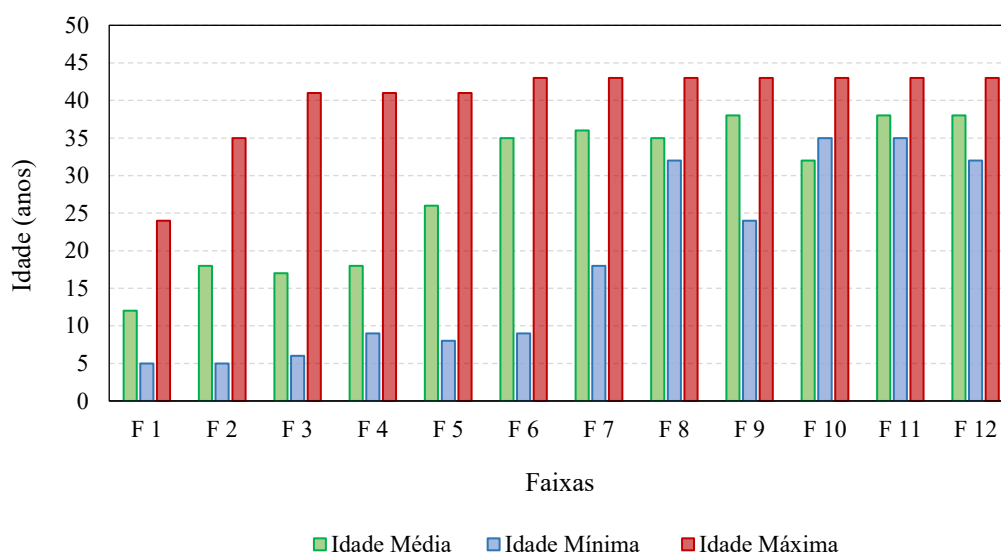


Tabela 21 - Amplitude de idades em cada faixa

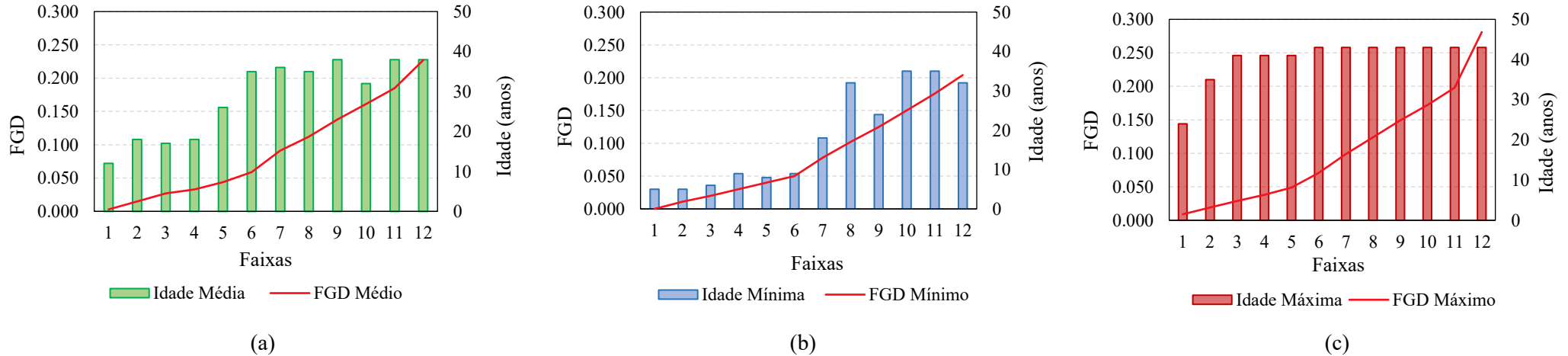
Faixas	Amplitude de idade
F 1	19
F 2	30
F 3	35
F 4	32
F 5	33
F 6	34
F 7	25
F 8	11
F 9	19
F 10	8
F 11	8
F 12	11

Considerando as 12 faixas de estudo, são analisadas relações entre as idades médias, mínimas e máximas e seus respectivos valores de FGD médios, mínimos e máximos, como apresentado na Figura 30.

- Para as idades médias (a) observa-se que a partir da faixa 6 os valores são próximos e todos acima de 32 anos. O comportamento do FGD se apresenta crescente e sem grandes variações.

- Nas idades mínimas de cada faixa (b) as diferenças observadas são maiores. As 6 primeiras faixas possuem valores abaixo de 10 anos e aumentando significativamente da faixa 7 em diante, evidenciando que em faixas como 10, 11 e 12 as idades mínimas encontradas são maiores que 30 anos. É possível observar também que a reta que representa o FGD possui duas inclinações distintas a partir da faixa de número 6.
- Para a idade máxima (c), com exceção da faixa 1, as demais faixas apresentam amostras com idades a partir de 35 anos, mesmo com degradação relativamente baixa, como é o caso das faixas em que o intervalo de FGD não atingiu o limite de 0,05. O FGD representado pela linha contínua apresenta três inclinações diferentes ao longo das 12 faixas. Essa mudança no comportamento da curva é nítida na faixa 5 e posteriormente na faixa 11, quando os níveis de degradação são bastante elevados.

Figura 30 - Comportamento da idade e FGD médio, mínimo e máximo nas 12 faixas

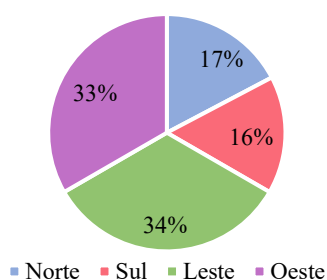


Os modelos que melhor representam a degradação são todos em função da idade como é o caso dos estudos de Silvestre (2005), Galbusera e Souza (2019). Mas diante do comportamento ilustrado nas figuras anteriores a relação da degradação com a idade não é uma relação direta e única, pois diferenças podem ser observadas nas 12 faixas de estudo, uma vez que nas faixas iniciais não estão presentes apenas baixas idades também. Além disso, na Figura 38 é possível perceber que não o comportamento da degradação não é em função apenas da idade uma vez que nas primeiras faixas com baixo FGD as idades ultrapassam 30 anos. Observa-se que a degradação é heterogênea e influenciada por diversos fatores que inclusive, se alteram em função das faixas.

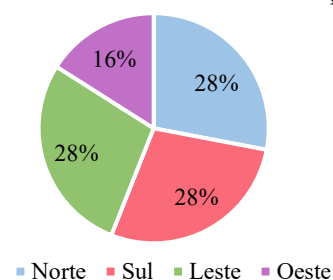
Dentre os vários fatores que são capazes de influenciar a degradação, é possível pontuar a orientação cardinal. Cada orientação da fachada vai estar exposta a agentes climáticos de formas e intensidades diferentes, resultando em uma resposta específica da degradação, em função por exemplo, da atuação da chuva dirigida e radiação solar. Ao se aumentar a classificação das faixas de degradação de F1 até F12, o FGD aumenta. Analisando cada faixa é possível perceber que se tem as contribuições das orientações mais relevantes para a degradação. Existe diferença entre as faixas iniciais e finais e as orientações predominantes na evolução da degradação. Norte. A composição de orientações das 12 faixas pode ser observada na Figura 31.

Figura 31 - Distribuição das amostras em função da orientação nas 12 faixas de estudo

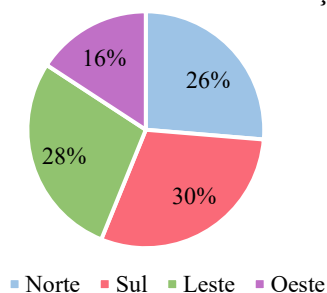
Faixa 1 - % de cada orientação



Faixa 2 - % de cada orientação



Faixa 3 - % de cada orientação



Faixa 4 - % de cada orientação

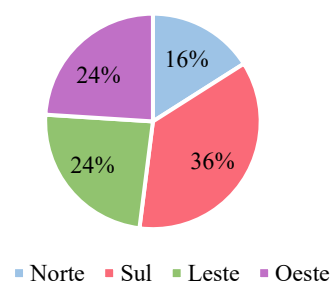
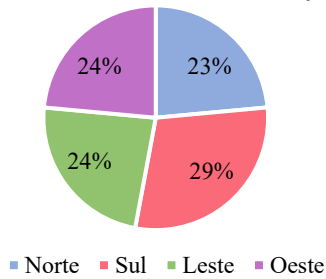
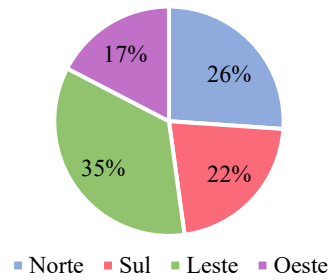


Figura 31 - Distribuição das amostras em função da orientação nas 12 faixas de estudo (Continuação)

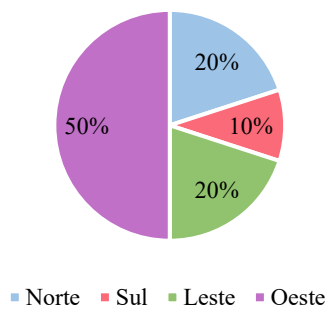
Faixa 5 - % de cada orientação



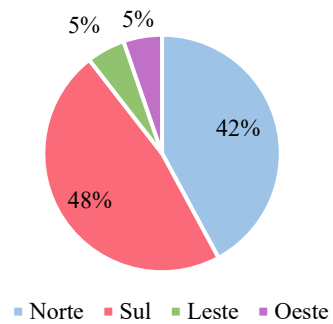
Faixa 6 - % de cada orientação



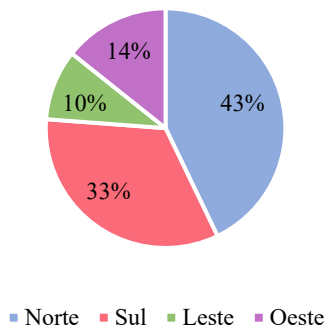
Faixa 7 - % de cada orientação



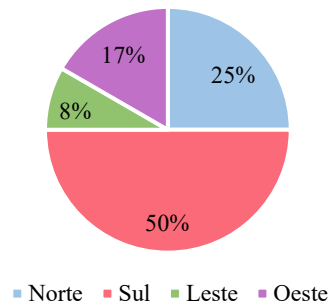
Faixa 8 - % de cada orientação



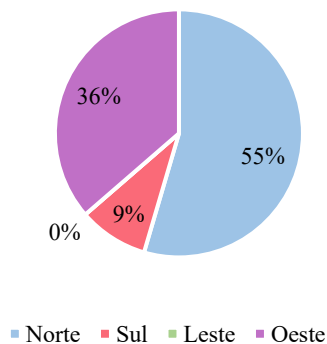
Faixa 9 - % de cada orientação



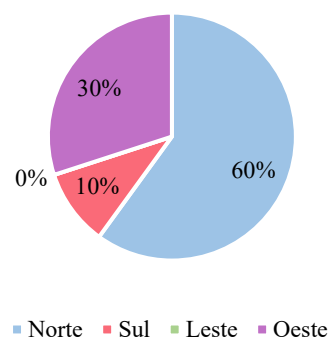
Faixa 10 - % de cada orientação



Faixa 11 - % de cada orientação



Faixa 12 - % de cada orientação



Com base nas 12 faixas e considerando as quatro orientações é possível pontuar os seguintes comportamentos e tendências:

- As faixas de 1 a 10 apresentam amostras nas quatro orientações, embora seus percentuais sejam variáveis de uma faixa para outra.
- As faixas com os maiores valores de FGD (faixa 11 e faixa 12) não possuem amostras com orientação Leste.
- É possível observar que as faixas 9, 11 e 12 tem predominância de amostras com orientação Norte.
- Para orientação Sul, é observada predominância nas faixas 3, 4, 5, 8 e 10. As faixas 6 e 7 tem predominância de amostras orientadas a Leste e Oeste, respectivamente.
- Nas duas faixas iniciais, que representam os menores valores de FGD, não é identificada predominância de uma única orientação, pois nessas faixas há quantidades iguais de amostras para duas ou três orientações.

Para menores índices de degradação e até a faixa 6 observa-se que não há uma tendência de orientações. Nas faixas intermediárias de 7 a 10 é possível perceber que há predominância de uma orientação em relação às demais. Para níveis avançados de degradação, traduzidos pelas faixas 11 e 12, fica nítida a predominância de Norte, sendo a orientação mais afetada pela radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano na cidade de Brasília - DF, seguida de Oeste como a segunda orientação predominante. A evolução do FGD é diferenciada em função da idade, mostrando forte relação com o grau de exposição. Nas seis primeiras faixas que contemplam fases iniciais, observa-se que a degradação é menor e distribuída. Quando a degradação se torna mais elevada é possível pontuar que há presença de orientação predominante e que o grau de exposição se torna crítico.

Para organização e visualização dos dados e informações de cada uma das faixas de estudo são utilizados quadros como o exemplificado a seguir (Quadro 4), que traz dados relevantes para as análises propostas em relação à degradação. Os quadros detalhados para as demais faixas avaliadas podem ser visualizados no Apêndice I. Os indicadores de degradação que são elencados no Quadro 4, bem como as discussões sobre os grupos de anomalias são discutidos nos itens a seguir.

Quadro 4 - Ficha de informações sobre a faixa 1

Análise de Faixas - FAIXA 1		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	5
	<i>Máxima</i>	24
	<i>Média</i>	12
<i>Orientação Predominante</i>		Leste e Oeste
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00001
	<i>Máxima</i>	0,00097
	<i>Média</i>	0,00028
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,000
	<i>Máximo</i>	0,009
	<i>Médio</i>	0,003
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 1
<i>Grau de Exposição</i>		Médio
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Falha nas Juntas
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		0,016
<i>FD anom 2</i>		0,011
<i>FD anom 3</i>		0,010
<i>FD anom 4</i>		0,002

5.2 Análise da degradação dos edifícios da base de dados

As amostras pertencentes às 12 faixas de estudo que apresentam comportamento divergente quando comparadas ao modelo de degradação proposto por Souza (2019) ressaltam mais uma vez que a degradação não é um processo evolutivo que pode ser atribuído apenas à idade. Nem toda amostra com idade acima de 20 anos apresenta elevado grau de degradação ou ultrapassa obrigatoriamente o limite de FGD de 0,05.

Considerando as particularidades de cada uma das 12 faixas de degradação analisadas, uma avaliação de cada edifício que compõe a base de dados também é relevante. A Figura 32 apresenta informações relevantes dos edifícios que são explorados no estudo. Cada um deles está identificado pela letra E, seguido de um número. Para cada um dos edifícios destaca-se a idade, número de pavimentos, se possui amostras nas quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste) e quantas amostras em cada uma delas. O esquema visual apresentado na figura tem como objetivo pontuar em quais faixas de degradação, das 12 estudadas, há presença de amostras para cada edifício da base.

Com base no modelo de degradação proposto por Souza (2019) no qual a degradação evolui com a idade, para os edifícios com idades menores o esperado são baixos níveis de degradação. Porém, ao se analisar os edifícios de forma individual não é o que acontece de forma unânime. O E2 por exemplo, com 9 anos da idade possui amostras na faixa 6, indicando valores de FGD que ultrapassam o limite de 0,05. É interessante observar também que nos edifícios E33, E34 e E35, todos eles com 35 anos da idade, as amostras não se concentram em faixas de elevada degradação. Nos três edifícios mencionados anteriormente, é possível identificar amostras pouco degradadas presentes em faixas iniciais como nas faixas 2 e 3.

Com base nos comportamentos elencados, mais uma vez fica evidente que o processo evolutivo da degradação é complexo e dependente de vários fatores para além da idade. A idade é uma variável de grande relevância para a degradação, mas outros fatores precisam ser considerados, como a orientação da fachada, grau de exposição e incidência de agentes climáticos, velocidade de degradação, anomalias e a área afetada.

Figura 32 - Rastreamento de informações dos edifícios da base de dados

		EDIFÍCIOS																		
Considerações	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	
Amostras em todas as orientações?	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
Quantas Norte?	3	4	1	1	4	8	-	19	7	-	2	1	1	2	2	2	2	3	2	
Quantas Sul?	2	6	1	1	2	12	1	7	4	2	2	1	1	1	2	2	3	2	3	
Quantas Leste?	1	1	4	4	2	1	3	1	1	-	3	1	7	1	2	2	2	2	2	
Quantas Oeste?	3	-	5	4	2	1	3	0	1	-	2	1	6	-	3	3	2	2	2	
Idade do Edifício	6	9	6	5	8	32	10	36	10	17	19	5	18	13	17	17	17	17	17	
nº de pavimentos	12	6	3	6	6	6	6	6	6	6	11	19	4	12	6	6	6	6	6	
Amostras em qual faixa?	F1		F1	F1	F1		F1		F1		F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	
	F2				F2				F2		F2	F2		F2						
	F3	F3			F3		F3		F3				F3		F3	F3	F3	F3	F3	
	F4	F4				F4			F4	F4	F4		F4	F4		F4	F4	F4	F4	
	F5				F5	F5		F5	F5		F5									
	F6					F6			F6											
									F7					F7						
									F8											
									F9											
									F10											
									F11											

↑
Menor Degradação
↓
Maior Degradação

		EDIFÍCIOS																			
Considerações	E21	E22	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38	E39	E40	E41	E42	E43	E44	E46	
Amostras em todas as orientações?	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	
Quantas Norte?	3	2	4	-	-	-	2	2	1	-	1	-	-	-	1	1	2	1	-	0	
Quantas Sul?	2	1	4	-	-	1	1	8	-	1	1	-	-	2	1	-	1	-	-	1	
Quantas Leste?	2	3	2	1	1	-	-	-	2	2	9	4	1	-	-	1	1	-	1	-	
Quantas Oeste?	2	2	8	-	1	-	-	-	5	7	-	-	1	1	2	1	-	3	-	-	
Idade do Edifício	17	17	43	38	38	43	38	35	35	35	24	41	27	38	38	38	38	27	27	43	
nº de pavimentos	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Amostras em qual faixa?	F1	F1						F2	F2	F2	F1										
	F3	F3						F3	F3	F3	F3	F3	F3								
	F4	F4						F4				F4									
								F5	F5		F5		F5				F5	F5	F5		
				F6	F6		F6	F6		F6			F6			F6	F6				F6
			F7				F7	F7							F7	F7					
			F8			F8		F8								F8					
			F9				F9			F9	F9				F9			F9			
			F10					F10			F10							F10			
			F11					F11	F11						F11	F11					
			F12												F12						

↑
Menor Degradação
↓
Maior Degradação

5.3 Comportamento da degradação

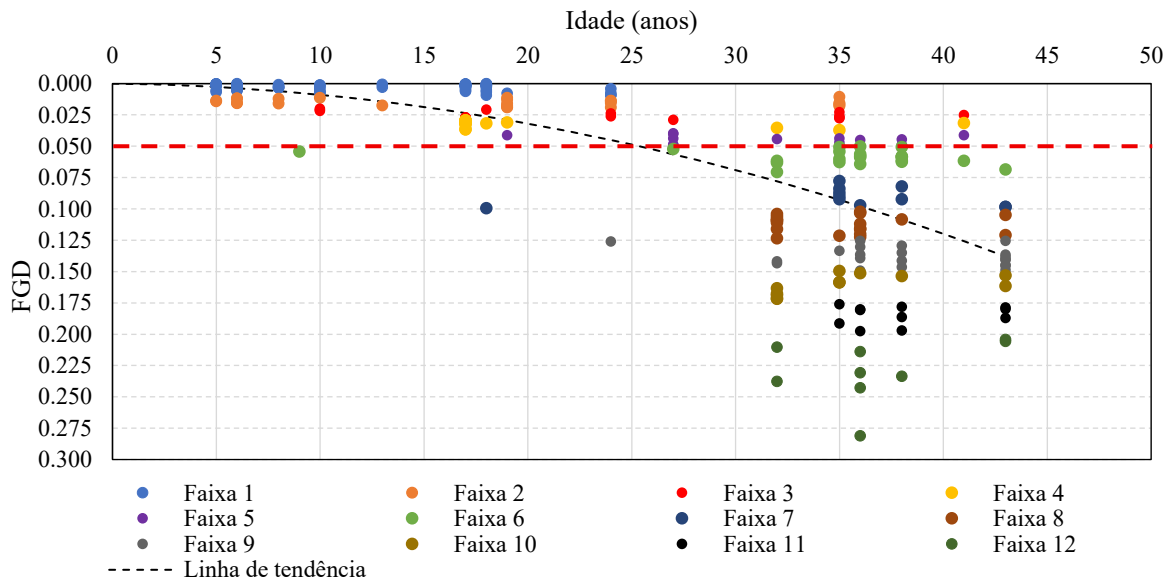
Os indicadores de degradação permitem traduzir o processo de degradação em índices numéricos que quantificam a ação da degradação em cada amostra ao longo do tempo. O item contempla resultados obtidos para as faixas de estudo com base nos indicadores de degradação que são propostos: FGD, FDanom e V_D . O indicador FDanom é abordado de forma individualizada no item 7.3 por meio de uma análise que envolve os grupos de anomalias e como se comportam quando a degradação é avançada.

5.3.1 Fator Geral de Degradação (FGD)

Considerando todas as amostras do estudo é possível perceber que há um comportamento singular entre as faixas, conforme apresentado na Figura 33. Na Figura está apresentado o valor de FGD das amostras da base de dados associado à idade de cada uma. A faixa 1 tem suas amostras concentradas em um intervalo de idade de até 25 anos. As faixas 2, 3, 4 e 5 apresentam uma variação maior de idade, variando de 5 a mais de 35 anos. A partir da faixa 6 o comportamento de distribuição das amostras se diferencia das anteriores. Na faixa 6 as amostras, com exceção de uma delas, apresentam idades superiores a 25 anos. Ressalta-se que a partir da faixa 6 as amostras já ultrapassam o limite de vida útil de 0,05. Da faixa 7 em diante as amostras possuem idades superiores a 30 anos e já apresentam um elevado grau de degradação, muitas vezes caracterizado por mais de um grupo de anomalias presente nos revestimentos das fachadas.

O comportamento das faixas de 6 a 12 são coerentes com modelos de degradação propostos por Souza (2019) e Andrade (2022) que ponderam a idade como uma das principais variáveis de degradação. Para índices mais elevados de degradação (FGD) tem-se associadas amostras com maior idade. Quanto maior o nível de degradação, maiores são as áreas acometidas por anomalias e mais severas também. Em muitos casos, nas últimas faixas com elevado FGD atividades de manutenção e recuperação nem sempre são efetivas para a resolução do problema ou se tornam muito onerosas.

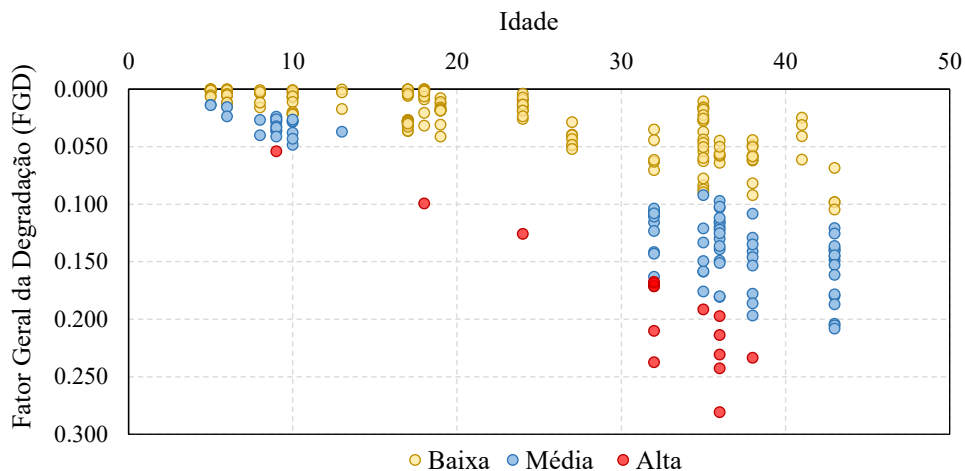
Figura 33 - Distribuição de amostras das 12 faixas de estudo



5.3.2 Velocidade de degradação (V_D)

O FGD é capaz de medir a degradação em um momento específico. Já o índice V_D proposto nesta pesquisa permite inferir a evolução do processo com o tempo e analisar comportamentos anteriores e posteriores. Considerando os intervalos que classifica a velocidade em baixa, média e alta. Na Figura 34 é possível observar a distribuição das amostras em função da idade e FGD e a classificação da velocidade através de cores distintas em baixa, média e alta.

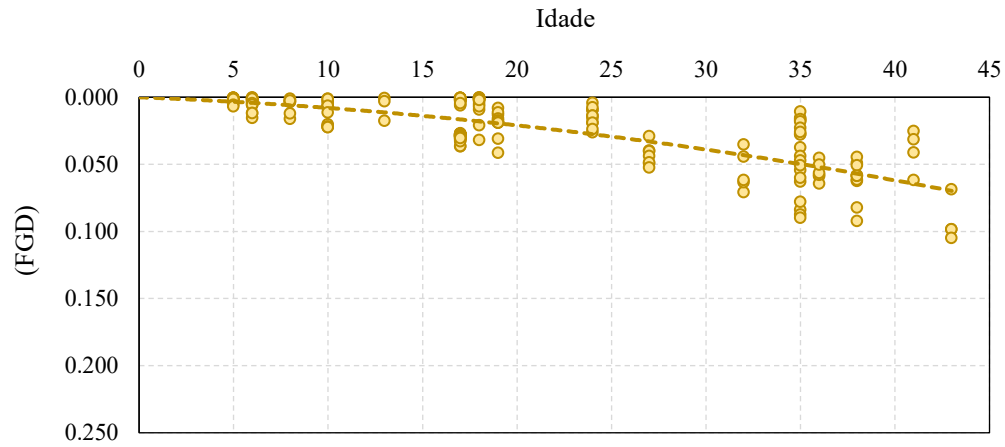
Figura 34 - Distribuição de amostras em três faixas de velocidade



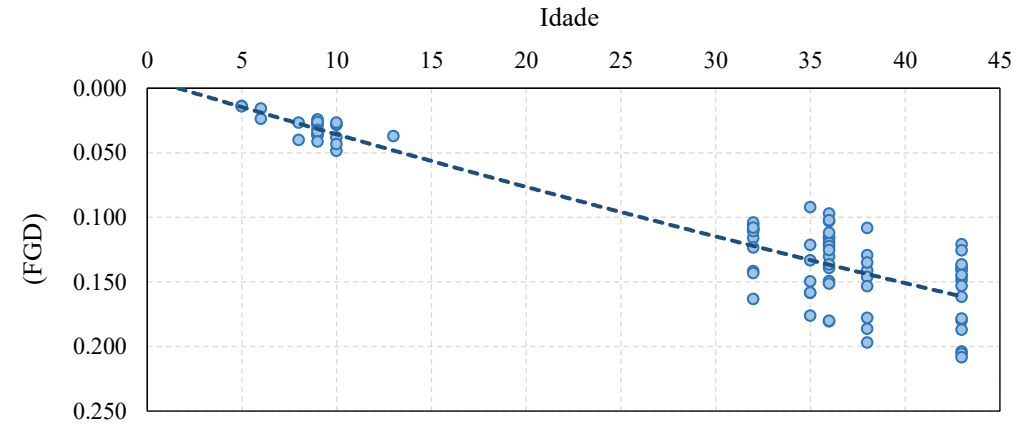
Com o aumento da degradação é nítido que há também mudanças no comportamento em função da velocidade. Conforme definido na Tabela 15 é possível observar que as amostras se dividem e se distribuem de forma distinta (A, B e C). A diferença de comportamento e dispersão observada, pode ser delimitada em três comportamentos predominantes em: amostras com $FGD < 0,05$; amostras com FGD entre 0,05 e 0,150 e amostras com $FGD > 0,150$. As diferenças se justificam pelas idades das edificações que pertencem a cada uma das 12 faixas.

Ao analisar cada faixa de velocidade separadamente é possível pontuar sobre o comportamento e distribuição das amostras de forma detalhada. A Figura 35 (a), (b) e (c) permite visualizar a distribuição das amostras classificadas como baixa, média e alta velocidade.

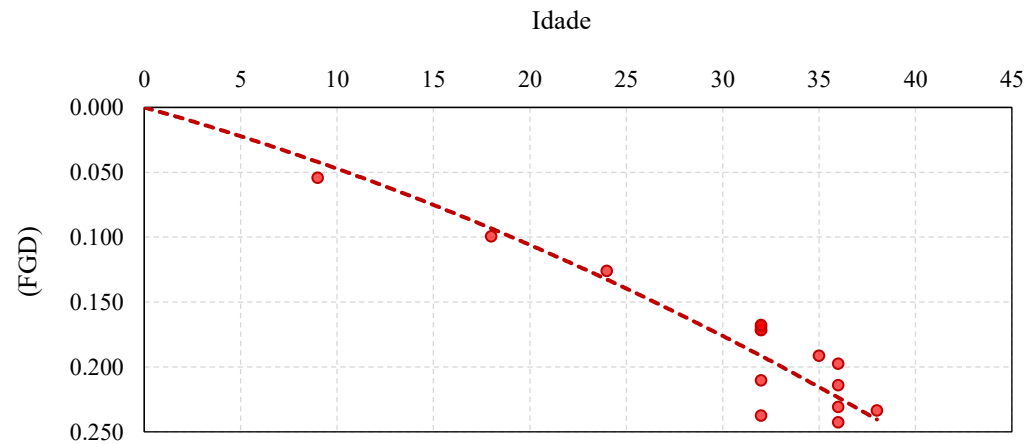
Figura 35 - Distribuição de amostras de baixa velocidade (a); média velocidade (b) e alta velocidade (c)



(a)



(b)



(c)

As amostras de baixa velocidade ($< 0,00260$) se distribuem ao longo de todo o espectro da idade que compõe a base de dados do estudo. É possível observar amostras com 5 anos e também com 43 anos, que são as idades mínima e máxima da amostragem. AS amostras de baixa velocidade apresentam em sua grande maioria $FGD < 0,05$, algumas ultrapassam o valor de limite de vida útil, se mantendo em intervalo de FGD até $0,10$. As amostras que ultrapassam o valor limitem de FGD , são amostras que possuem idade elevada, acima de 30 anos.

Para a faixa de média velocidade ($0,00261$ a $0,00520$) um comportamento distinto é identificado. Existem amostras concentradas em idades até 15 anos, com $FGD < 0,05$ e uma lacuna de amostras no intervalo entre 15 e 30 anos, associada à própria composição da base de dados. Após 30 anos, observa-se uma nova concentração de amostras, de forma que todas já ultrapassam o limite de vida útil, com valores de FGD superiores aos encontrados para amostras com mais de 30 anos que são classificadas com baixa velocidade, cuja representação é apresentada na Figura 34 (b).

Para a maior faixa de velocidade com V_D superior a $0,00521$ (Figura 42 - c), todas as amostras apresentam $FGD > 0,05$, com maior parte das amostras com idade superior a 30 anos. Apenas 3 amostras classificadas nesta faixa de velocidade apresentam idade inferior a 25 anos, observação que reforça que alta velocidade de degradação é comum em amostras com idade já avançada.

Para os três níveis de velocidade e considerando as quatro orientações cardeais adotadas no estudo é possível perceber alguns comportamentos em relação a distribuição de amostras. Na Tabela 22 são apresentadas as quantidades de amostras de cada nível de velocidade e orientação, bem como o percentual que representam.

Tabela 22 - Divisão das amostras com base na velocidade de degradação

Velocidade	Total de amostras	Norte		Sul		Leste		Oeste	
		Nº de amostras	(%) de amostras	Nº de amostras	(%) de amostras	Nº de amostras	(%) de amostras	Nº de amostras	(%) de amostras
Baixa	212	43	20,28	49	23,11	63	29,72	57	26,89
Média	82	32	39,02	28	34,15	9	10,98	14	17,07
Alta	16	10	62,50	4	25	2	12,50	1	6,25

Para baixa velocidade, nível com maior número de amostras, observa-se que elas estão distribuídas de forma semelhante entre as quatro orientações, variando entre 20 e 30%. A

orientação com maior número de amostras é a Leste, seguida da Oeste. No caso de velocidade média, esse comportamento se altera, com poucas amostras em Leste e Oeste, com predominância em Norte e Sul, respectivamente. Para a velocidade mais alta, observa-se que a orientação Norte predomina, representando mais de 50% das amostras enquadradas em alta velocidade de degradação.

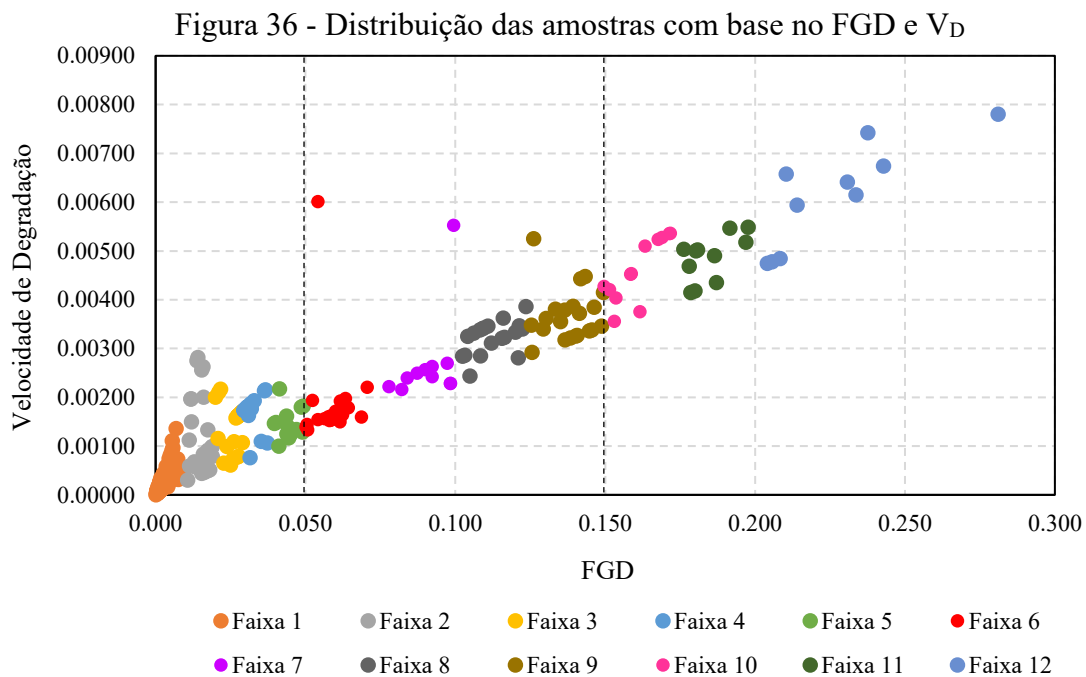
Cada uma das 12 faixas de intervalos de FGD quando analisadas separadamente, se comportam de uma forma específica considerando as três faixas de velocidade de degradação.

- Na primeira faixa de FGD todas as amostras são classificadas como de baixa velocidade de degradação e suas idades variam entre 5 e 24 anos.
- Na faixa 2 já começam aparecer amostras com velocidade média (três amostras, sendo duas delas de orientação Norte) e as de baixa velocidade tem idade entre 5 e 35 anos.
- As faixas 3, 4 e 5 apesar de terem intervalos de FGD distintos em termos de velocidade, comportam amostras de baixa e média velocidade, sendo as de baixa velocidade a maioria.
- Para a faixa 6, uma mudança interessante pode ser pontuada, pois existem amostras de baixa e alta velocidade. A faixa 6 é a primeira faixa em que aparece uma amostra classificada com alta velocidade de degradação.
- A próxima faixa, a 7, apresenta amostras referentes às três velocidades consideradas no estudo.
- Para a faixa 8 observa-se a maioria das amostras com velocidade média e apenas uma com baixa velocidade.
- Da faixa 9 até a 12 não há mais presença de amostras de baixa velocidade. Na última faixa (12) com maior degradação observa-se uma inversão no comportamento das amostras, pois nela a maioria das amostras possui elevada velocidade.

Independente do nível de velocidade de cada amostra, ao analisar o comportamento da degradação para todas as amostras do estudo é possível atribuir, com base nas 12 faixas, tendências semelhantes que caracterizam comportamentos bem definidos. Ao considerar que cada faixa apresenta suas particularidades, em relação à velocidade de degradação quando se compara cada uma delas é possível observar comportamentos que se assemelham entre algumas faixas e outros que as distinguem.

- Para as cinco primeiras faixas, o comportamento se repete e as amostras se distribuem em um amplo intervalo de velocidade, com as amostras em nuvem de pontos.
- Da faixa 6 até a faixa 9 fica evidente que as amostras se agrupam em um intervalo menor de velocidade, com as amostras em tendência linear.
- A partir da faixa 10 até a última faixa de análise (faixa 12) as amostras se distanciam novamente, ocupando um intervalo maior de velocidade em que não é tão presente a linearidade de relação entre FGD e V_D .

Com base nessas observações é possível inferir para as 12 faixas de FGD, que as faixas se agrupam em três grupos de comportamentos distintos, como limitado pelas linhas pontilhadas na Figura 36.

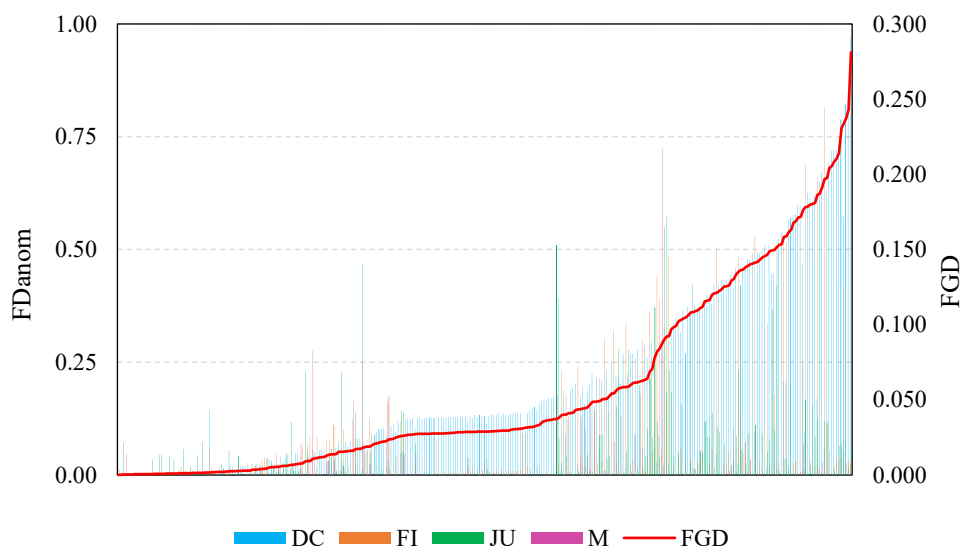


5.4 Grupos de anomalias

Ao observar as 12 faixas de análise divididas em função do FGD é possível pontuar comportamentos em função dos grupos de anomalias. Em fachadas com revestimento cerâmico é observado que desde o surgimento das anomalias elas se manifestam e evoluem de maneira diferente em função do quanto o elemento ou sistema está degradado, da sua exposição e

orientação. Na Figura 37 estão apresentados os valores de FDanom para todas as amostras estudadas.

Figura 37 - FDanom das amostras da base de dados

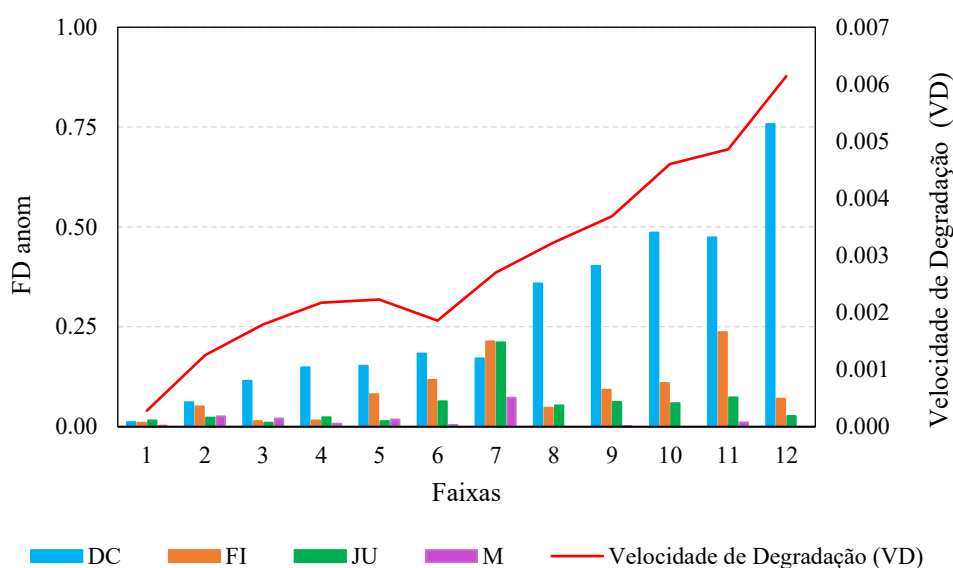


Na Tabela 23 estão apresentados os valores médios de FDanom para os quatro grupos considerados em cada uma das 12 faixas e estão representados juntamente com o FGD de cada faixa na Figura 38. Para a maioria das faixas percebe-se que descolamento (DC) é o grupo mais recorrente e que está presente em todas as faixas. O grupo de anomalias referente a manchas é o que menos aparece nas 12 faixas, fato que pode explicado pelo fato de manchas não serem anomalias tão comuns e graves em revestimentos de fachada do tipo cerâmico.

Tabela 23 - Valores médios dos grupos de anomalias de cada faixa

FAIXA	FDanom			
	DC	FI	JU	M
F1	0,011	0,010	0,016	0,002
F2	0,061	0,051	0,022	0,026
F3	0,115	0,014	0,010	0,020
F4	0,148	0,015	0,024	0,007
F5	0,152	0,081	0,014	0,018
F6	0,183	0,117	0,064	0,004
F7	0,171	0,213	0,211	0,072
F8	0,358	0,048	0,053	0,000
F9	0,403	0,092	0,062	0,001
F10	0,486	0,110	0,059	0,000
F11	0,473	0,236	0,073	0,010
F12	0,757	0,070	0,027	0,000

Figura 38 - Características dos grupos de anomalias em cada faixa



Com base no comportamento observado é possível elencar grupos de anomalias primários e secundários para as faixas de FGD, conforme Tabela 24. Por critério, o grupo de anomalia considerado primário se refere ao grupo que apresenta valor médio de FD_{anom} para a faixa. O grupo secundário faz referência ao segundo maior valor de FD_{anom} considerando quatro grupos. Para o tipo de revestimento analisado no estudo, a maioria das faixas de FGD apresenta como principal grupo de anomalias o descolamento. Outras causas que permitem o desenvolvimento do descolamento cerâmico estão relacionadas à movimentação diferencial do edifício, à expansão das cerâmicas, devido à expansão por umidade e/ou dilatação térmica, ao erro na especificação e execução de argamassa colante e até mesmo pela falta de manutenção (Chagas, 2009; Flores-Colen *et al.*, 2010; Souza 2019; Andrade, 2022).

Como problemas secundário, são pontuadas nas faixas as fissuras. A ocorrência de fissuras no sistema de revestimento pode comprometer o desempenho quanto a estanqueidade. As fissuras podem ser associadas à movimentação que ocorre entre alvenaria, base e estrutura. A presença de fissuras permite o ingresso de umidade no sistema podendo surgir outras anomalias, tais como manchas, eflorescências, falha nas juntas e até mesmo descolamento cerâmico (Chagas, 2009; Santos, 2017; Souza, 2019).

Em seus estudos Souza (2019) aponta o descolamento cerâmico e fissuração como as anomalias que mais interferem no desempenho do sistema de revestimento cerâmico. Além disso, pontua que a anomalia maior valor de importância relativa no estudo de mensuração da

degradação é o descolamento cerâmico. As observações sobre o grupo de anomalia primário convergem com os estudos de Bauer *et al.* (2010) que consideram o descolamento cerâmico como a anomalia mais grave. A existência da anomalia de descolamento cerâmico na fachada é capaz inclusive, de afetar a segurança dos usuários, exigindo urgência na reparação, que pode ser um processo com elevado custo (Souza *et al.*, 2019).

Tabela 24 - Grupos de anomalia primários e secundários para as faixas analisadas

Faixa	Grupo de anomalia primário	Valor médio do FDanom	Grupo de anomalia secundário	Valor médio do FDanom
F1	Falha nas Juntas	0,015	Descolamento	0,010
F2	Descolamento	0,061	Fissuras	0,510
F3	Descolamento	0,115	Manchas	0,020
F4	Descolamento	0,148	Juntas	0,024
F5	Descolamento	0,152	Fissuras	0,081
F6	Descolamento	0,183	Fissuras	0,117
F7	Fissuras	0,213	Juntas	0,211
F8	Descolamento	0,358	Juntas	0,053
F9	Descolamento	0,403	Fissuras	0,092
F10	Descolamento	0,486	Fissuras	0,110
F11	Descolamento	0,473	Fissuras	0,236
F12	Descolamento	0,757	Fissuras	0,070

5.5 Análise das características de degradação de cada faixa

Cada uma das 12 faixas apresenta amostras diferentes e ao longo da caracterização proposta no estudo resultam em comportamentos específicos que precisam ser analisados visando uma classificação e agrupamento com base nas suas convergências e divergências. Ressalta-se que as faixas entre 1 e 5 atendem os limites de degradação respeitando o limite de vida útil. As amostras das cinco primeiras faixas possuem grande variabilidade de FGD, de forma distinta do que ocorre nas faixas posteriores. Os itens a seguir abordam separadamente o perfil de cada faixa. Todas as informações analisadas referentes às 12 faixas de estudo podem ser visualizadas nos Apêndices.

5.5.1 Comportamento das amostras da faixa 1

A faixa 1 apresenta amostras com a menor degradação da base de dados em estudo. Ao todo possui 81 amostras, distribuídas na orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, predominando as orientações Leste e Oeste. Considerando a velocidade de degradação como um índice de análise, todas as amostras da faixa 1 são classificadas como baixa velocidade, com V_D inferior a 0,00260, conforme Figura 39. Apesar das amostras da faixa 1 serem classificadas como baixa velocidade, pela Tabela 25 é possível observar que não há uma linearidade nos valores. Considerando o maior e menor valor de velocidade das amostras pertencentes à faixa 1 é possível verificar uma amplitude de 0,00135.

Figura 39 - Comportamento das amostras da faixa 1 com base no FGD e V_D

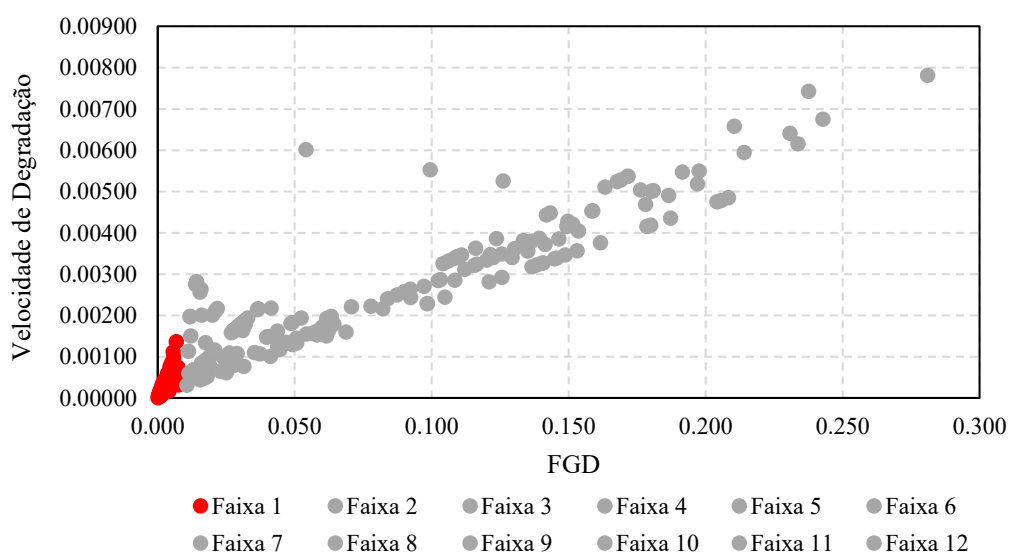
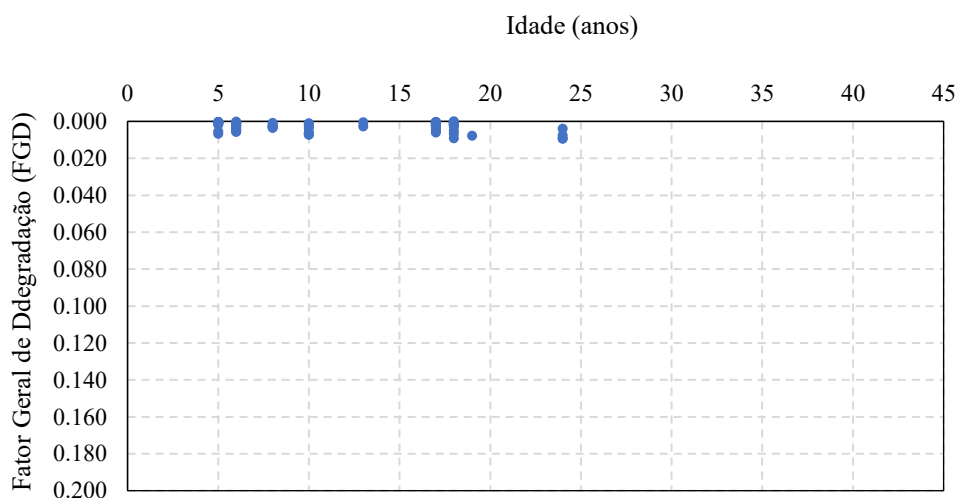


Tabela 25 - Amplitude de velocidade na faixa 1

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
1	0,00001	0,00136	0,00135	0,00028

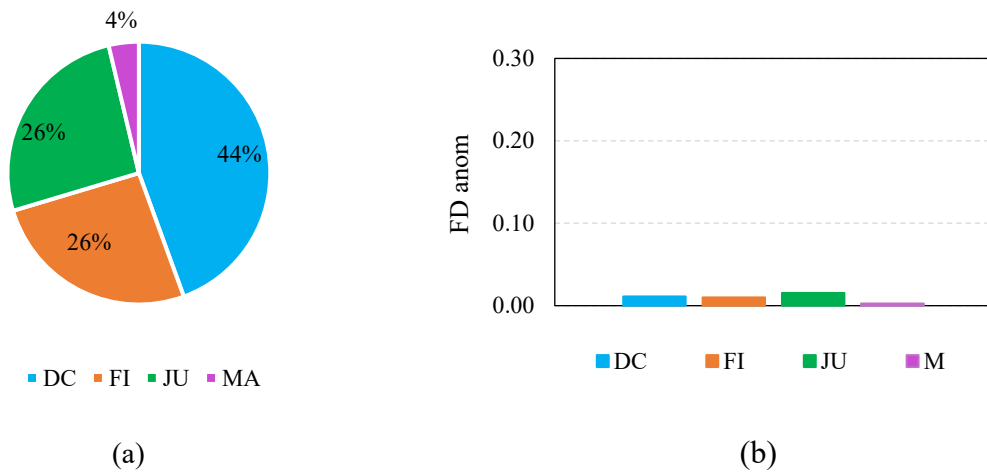
As idades do grupo amostral variam de 5 a 24 anos, como é possível observar na Figura 40. A máxima idade de amostras da faixa 1 é algo a se pontuar, uma vez que com 24 anos espera-se que o nível e degradação seja maior, devido ao tempo que a amostra ficou exposta a ação de diversos agentes de degradação. Tal observação é um indicativo de que a idade não deve ser a única variável associada ao nível de degradação de uma amostra. Idade elevadas enquadradas na faixa de menor degradação da base de dados pode ser explicada por uma situação de baixo grau de exposição ou proteção da fachada ou por serviços de manutenção adequada.

Figura 40 - Amostras da faixa 1



Para os grupos de anomalias, observa-se que o mais relevante na faixa são as falhas nas juntas, seguidas pelo descolamento, com base no valor médio de cada grupo de anomalia. Cada amostra possui um grupo de anomalia predominantes, que varia entre descolamento, fissuras, falha nas juntas e manchas, como representado na Figura 41 (a). O percentual indica a quantidade de casos em que determinada anomalia é considerada primária, ou seja, apresenta o maior valor entre os quatro grupos considerados. Além disso, é possível observar na Figura 41 (b) os valores de FD_{anom} para o descolamento, fissuras, falha nas juntas e manchas. Como a degradação na faixa 1 é inicial, os valores para todos os grupos são baixos e próximos.

Figura 41 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 1 (b)



5.5.2 Comportamento das amostras da faixa 2

A faixa 2 possui 25 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Assim como observado na faixa 1, esta faixa não apresenta uma predominância única de orientação. Por meio da observação em base nas orientações das amostras é importante pontuar que em situações de degradação inicial, como o caso das Faixas 1 e 2, em que não há predominância de uma orientação, é possível inferir que a degradação e sua evolução não são influenciadas unicamente pelo grau de exposição aos agentes climáticos. Na faixa 2 além de amostras com baixa velocidade, que são maioria, observa-se o aparecimento de 3 amostras com velocidade média em que o V_D varia de 0,00261 a 0,00520.

A distribuição das amostras está demonstrada na Figura 42 e permite identificar uma amplitude maior de valores, como apresentado na Tabela 26. As amostras se distribuem em forma de nuvem, indicando que não há uma linearidade entre o FGD e a velocidade de degradação.

Figura 42 - Comportamento das amostras da faixa 2 com base no FGD e V_D

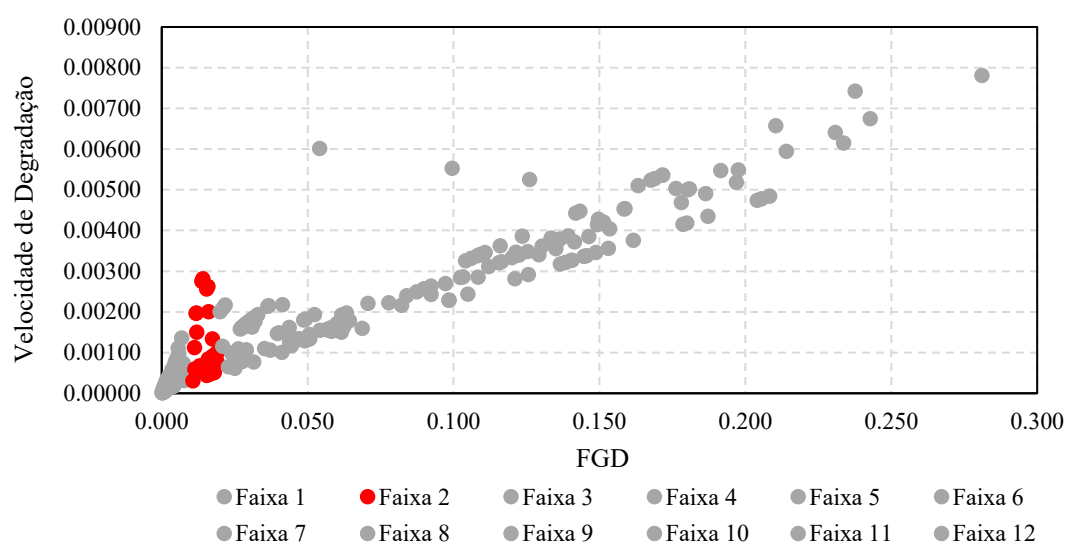
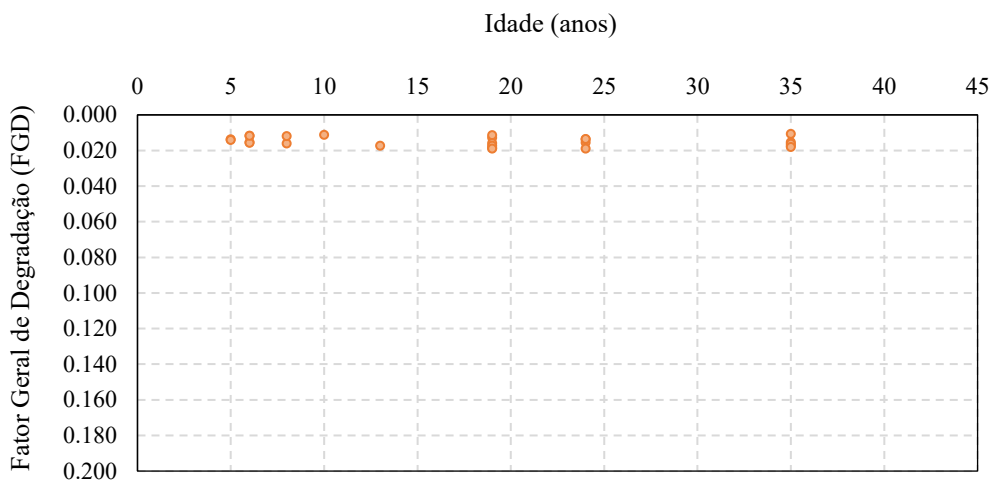


Tabela 26 - Amplitude de velocidade na faixa 2

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
2	0,00030	0,00282	0,00251	0,00122

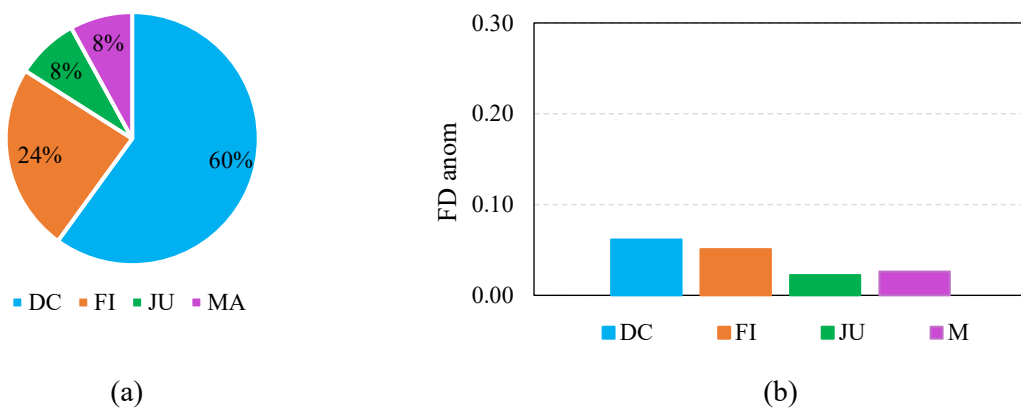
As idades do grupo amostral variam de 5 a 35 anos, como é possível observar na Figura 43. A máxima idade de amostras da faixa 2 reforça a observação da faixa 1 de que é possível que exista mais variáveis decisivas e representativas que devem ser analisadas ao se estudar a degradação, para além da idade. Exclusivamente pela idade de 35 anos, o comum e esperado é um nível de degradação superior. Baixa exposição e a proteção da fachada podem ser fatores associados a baixa degradação em amostras com idades superiores a 25 anos, por exemplo.

Figura 43 - Amostras da faixa 2



Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar divergência ao observado na faixa 1. Na faixa 2 os grupos de anomalias primário e secundário são respectivamente, descolamento e fissuras, mas que há presença dos 4 grupos de anomalias. Na Figura 44 estão os percentuais de anomalias primárias para as amostras da faixa 2, indicando que o descolamento é a o grupo de anomalia primário responsável por acometer mais de 50% das amostras da faixa. Para a faixa 2, assim como na faixa 1, observa-se que os valores de FD_{anom} são próximos para os quatro grupos de anomalias considerados, indicando ausência de dominância entre elas. Tal observação pode ser explicada por possíveis falhas no processo de construção ou alguma não conformidade normativa de execução ou materiais.

Figura 44 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FD_{anom} nas amostras da faixa 2 (b)



5.5.3 Comportamento das amostras da faixa 3

A faixa 3 possui 42 amostras distribuídas nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Para o novo índice proposto no estudo que é a velocidade de degradação, pontua-se que todas as amostras apresentam baixa velocidade de degradação e a sua distribuição pode ser observada na Figura 45. As amostras possuem distribuição não linear, assim como observado nas faixas anteriores e há alta amplitude em relação aos valores de velocidade encontrados na faixa (Tabela 27).

Figura 45 - Comportamento das amostras da faixa 3 com base no FGD e V_D

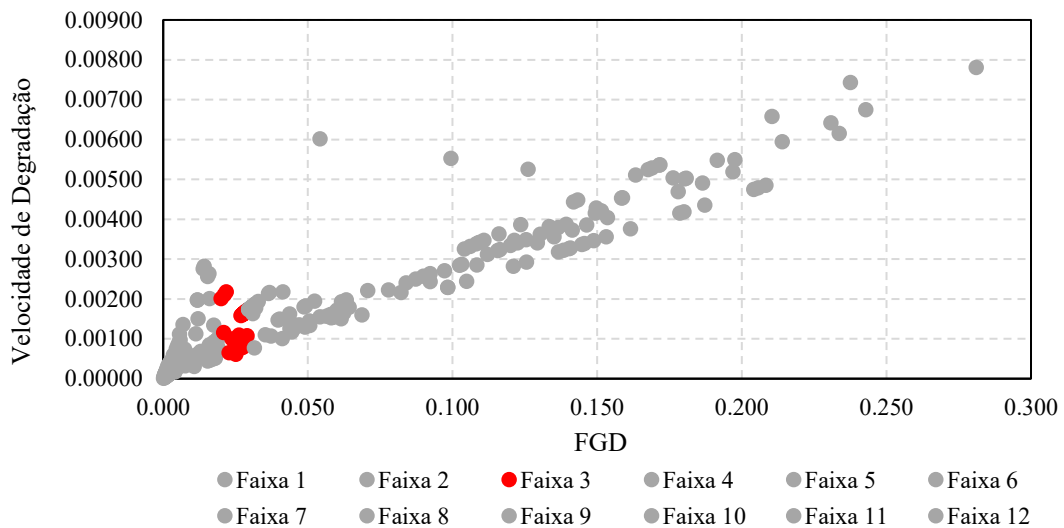


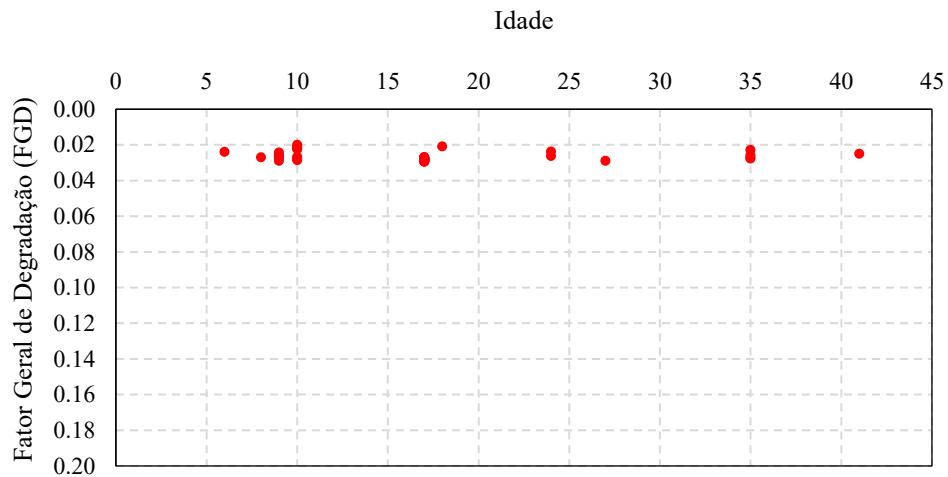
Tabela 27 - Amplitude de velocidade na faixa 3

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
3	0,00061	0,00217	0,00156	0,00152

A distribuição das amostras em função da idade e FGD pode ser observada na Figura 46. As amostras da faixa variam suas idades entre 5 e 45 anos, indicando que não há um padrão relacionado a idade. Tal observação pode ser atribuída ao fato de a idade não ser a única e relevante que explique por completo a degradação. Algumas amostras apresentam idade igual a 10 anos, enquanto outras atingem 35 anos, mesmo a faixa 3 sendo considerada pelo valor do FGD de baixa degradação. Para as amostras com 35 anos ou mais, a faixa 3 representa

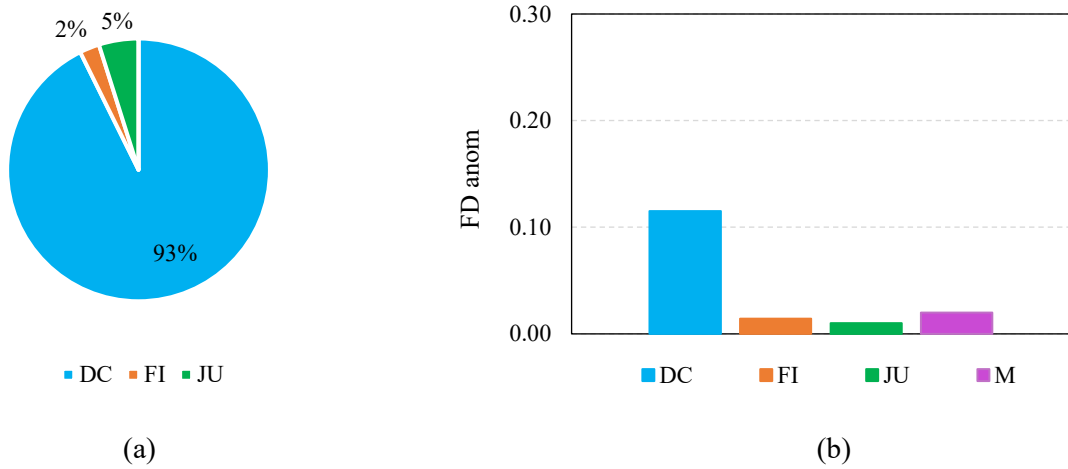
baixa degradação, visto que ainda está abaixo do limite último de vida útil considerado como 0,05.

Figura 46 - Amostras da faixa 3



O grupo de anomalias primário na faixa é o descolamento, seguido de manchas a o percentual referente aos grupos de anomalias para anomalia primária estão representados na Figura 47 (a). Ao analisar a faixa 3 e suas características, é possível ressaltar que em fases de degradação iniciais não há uma variável única responsável pelos comportamentos identificados. Observação coerente, uma vez que ao longo do processo evolutivo da degradação há dinamismo de agentes e mecanismos pelo fato de o processo e sua evolução serem heterogêneos. O descolamento como grupo de anomalia primário é responsável por acometer mais de 90% das amostras constituintes da faixa. Há existência de manchas (Figura 47 - b) mas em nenhum amostra são consideradas anomalias primárias.

Figura 47 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 3 (b)



5.5.4 Comportamento das amostras da faixa 4

A quarta faixa possui 19 amostras, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, com predominância de Oeste. A maioria das amostras se enquadram em baixa velocidade, com algumas amostras com média velocidade. Nenhuma amostra da faixa 4 atinge alta velocidade de degradação, e a distribuição está representada na Figura 48. A amplitude calculada com base na maior e menor velocidade da faixa está destacada na Tabela 28.

Figura 48 - Comportamento das amostras da faixa 4 com base no FGD e V_D

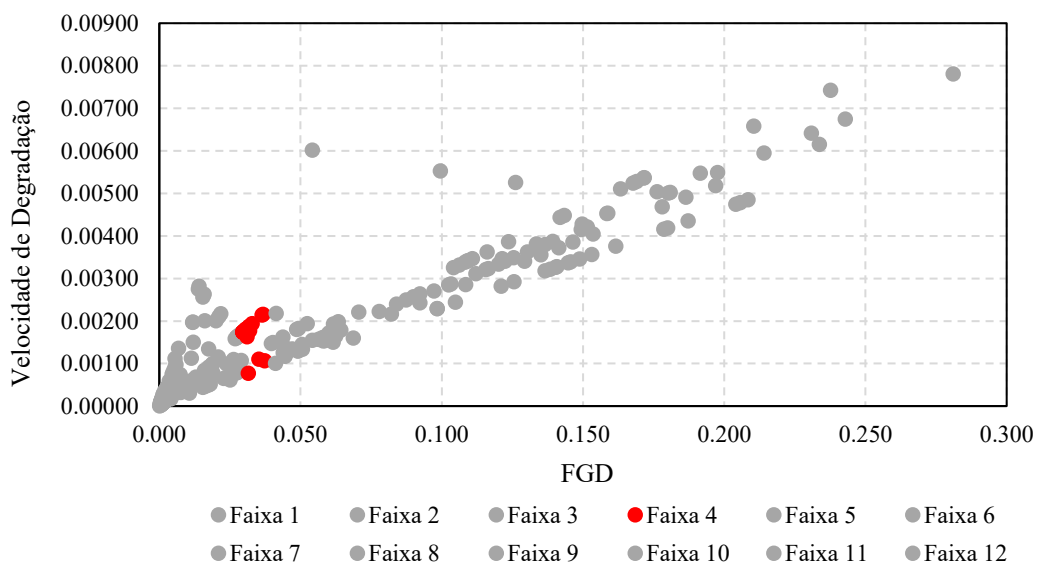
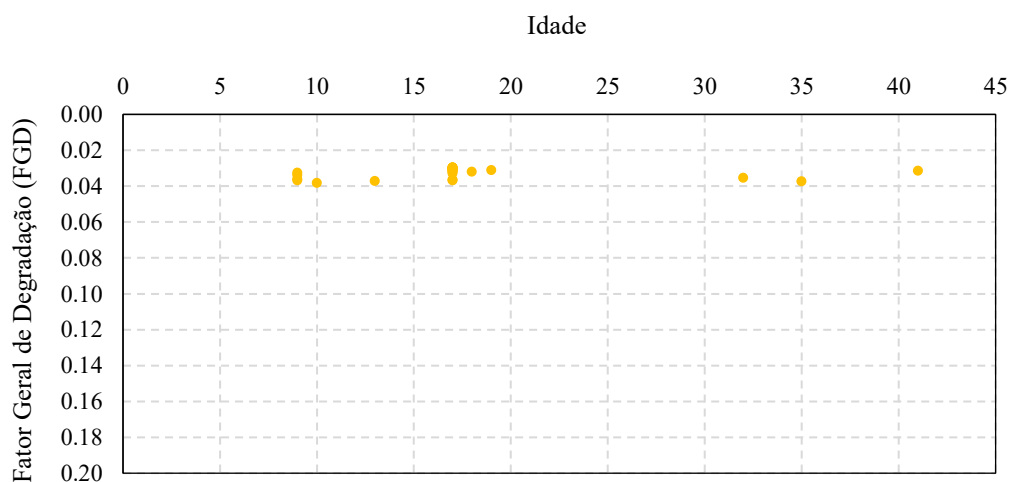


Tabela 28 - Amplitude de velocidade na faixa 4

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
4	0,00077	0,00216	0,00139	0,00170

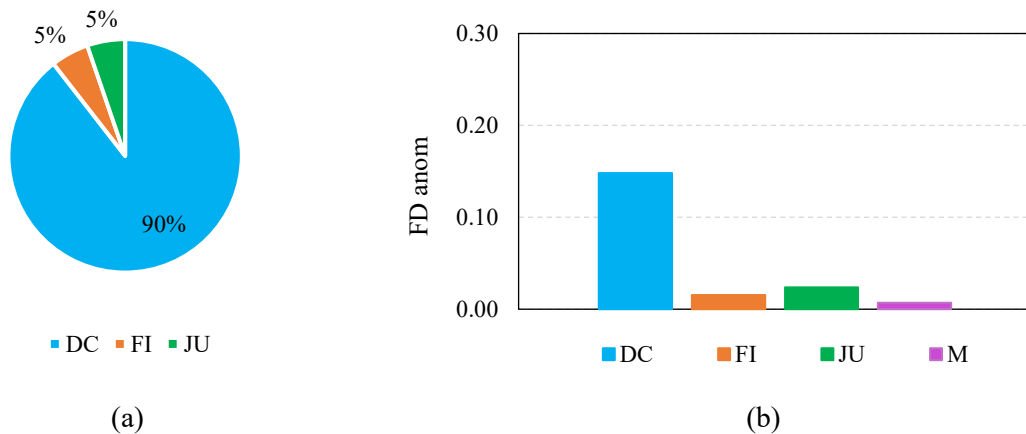
Para a faixa 4, o que se observa são amostras concentradas entre 15 e 20 anos, com algumas ultrapassando 35 anos de idade, como pode ser visualizado na Figura 49. Comportamento semelhante é observado nas faixas anteriores, que mesmo com baixa degradação há presença de amostras com idade elevada.

Figura 49 - Amostras da faixa 4



Na faixa 4 os grupos de anomalias primário e secundário são respectivamente, descolamento e falha nas juntas. Ainda para a Faixa 4, na Figura 50 (a) podem ser visualizados os percentuais de amostras em cada grupo de anomalia considerada primária para a faixa em questão. Assim como observado na faixa 3, as machas apesar de existirem, não são anomalias primárias em nenhuma amostra (b).

Figura 50 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 4 (b)



5.5.5 Comportamento das amostras da faixa 5

A faixa 5 é a última faixa de análise antes do limite de FGD de 0,05 que é o limite último de vida útil. A faixa possui amostras nas quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), e a que predomina é a orientações Oeste. A maioria das amostras são classificadas como baixa velocidade e a distribuição pode ser visualizada na Figura 51. As demais amostras se enquadram na classificação de média velocidade, sem nenhuma ocorrência de velocidade alta. Nas cinco primeiras faixas apresentadas não é possível observar uma relação direta entre velocidade e FGD.

Figura 51 - Comportamento das amostras da faixa 5 com base no FGD e V_D

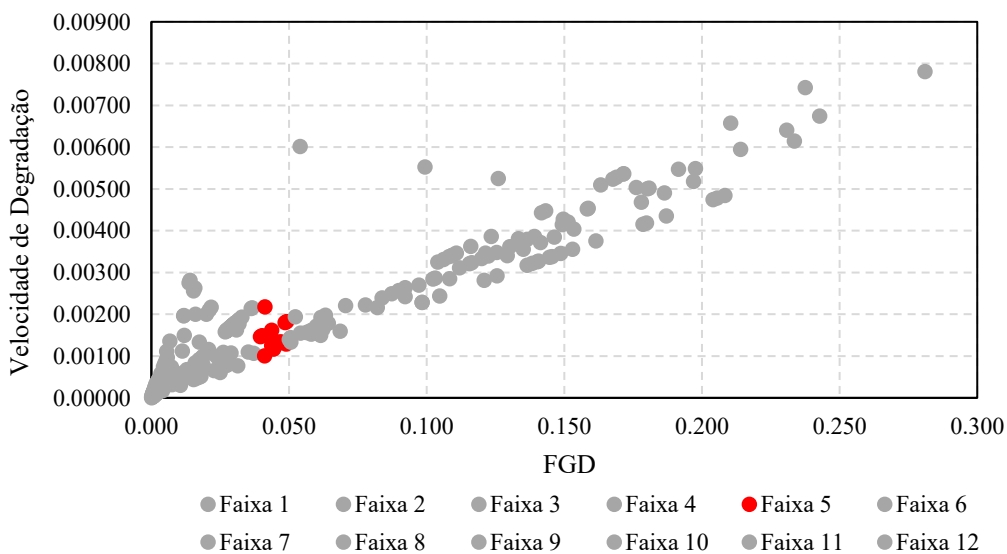
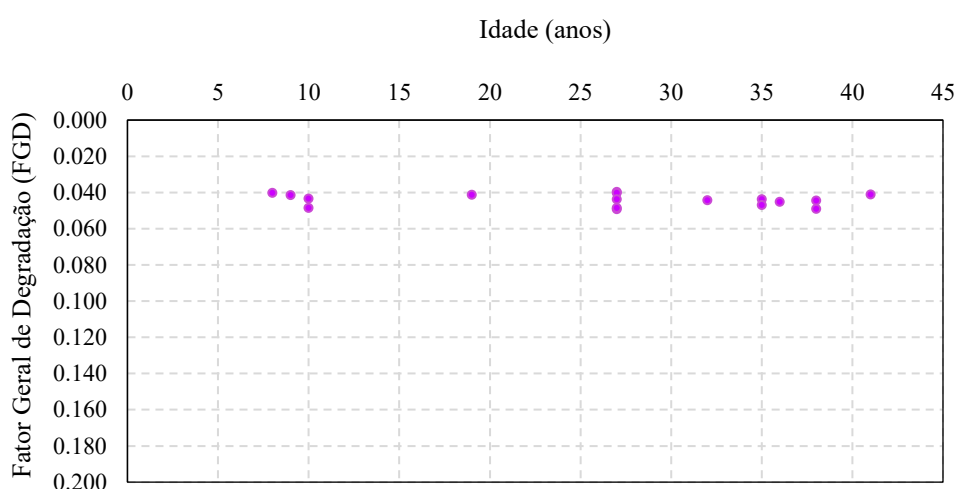


Tabela 29 - Amplitude de velocidade na faixa 5

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
5	0,00100	0,00218	0,00117	0,00147

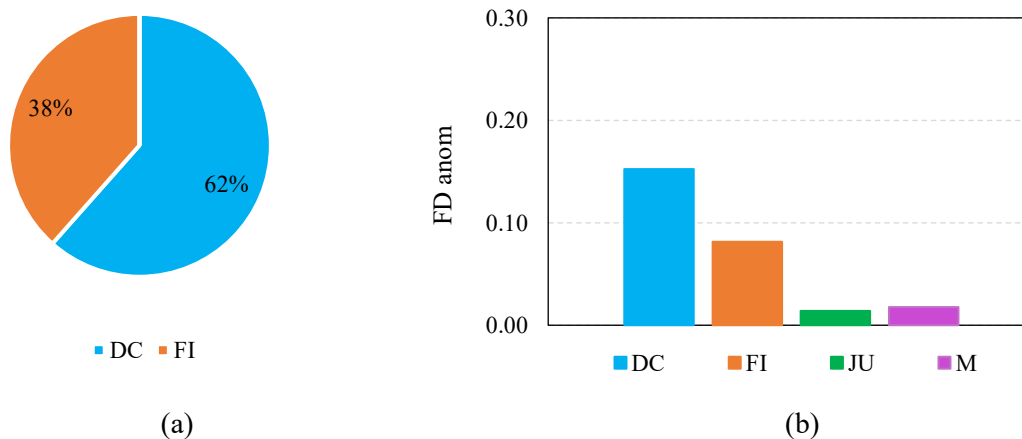
A faixa possui 13 amostras, que estão concentradas acima de 15 anos de idade, atingindo inclusive idades avançadas, acima de 35 anos, conforme Figura 52. Não há um padrão de idades na faixa, uma vez que existem amostras com idades baixas e elevadas.

Figura 52 - Amostras da faixa 5



Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar respectivamente para os grupos de anomalias primário e secundário, descolamento e fissuras. Para as amostras da faixa 5 percebe-se que não há amostras com anomalia primária para os grupos de falha nas juntas e fissuras. A Figura 53 permite observar que as amostras se dividem em descolamentos e fissuras.

Figura 53 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 5 (b)



5.5.6 Comportamento das amostras da faixa 6

A sexta faixa possui 22 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. A orientação com maior número de amostras é a Leste. A faixa 6 é a primeira faixa com amostras que ultrapassam o limite de vida útil. Observação importante a respeito da velocidade de degradação na faixa 6, é que ela é a primeira faixa que aparece uma amostra de alta velocidade, com V_D maior que 0,00521. Na faixa 6 é possível observar que existe uma relação direta entre o FGD e a velocidade de degradação, em que as amostras estão distribuídas de forma linear, comportamento que nas faixas anteriores não ocorria. As demais amostras se enquadram na classificação de baixa velocidade. Na Figura 54 estão representadas em destaque como as amostras da faixa 6 se distribuem. A amplitude apresentada na Tabela 30 é elevada porque uma das amostras apresenta comportamento distinto das demais da faixa, que estão agrupadas de forma linear.

Figura 54 - Comportamento das amostras da faixa 6 com base no FGD e V_D

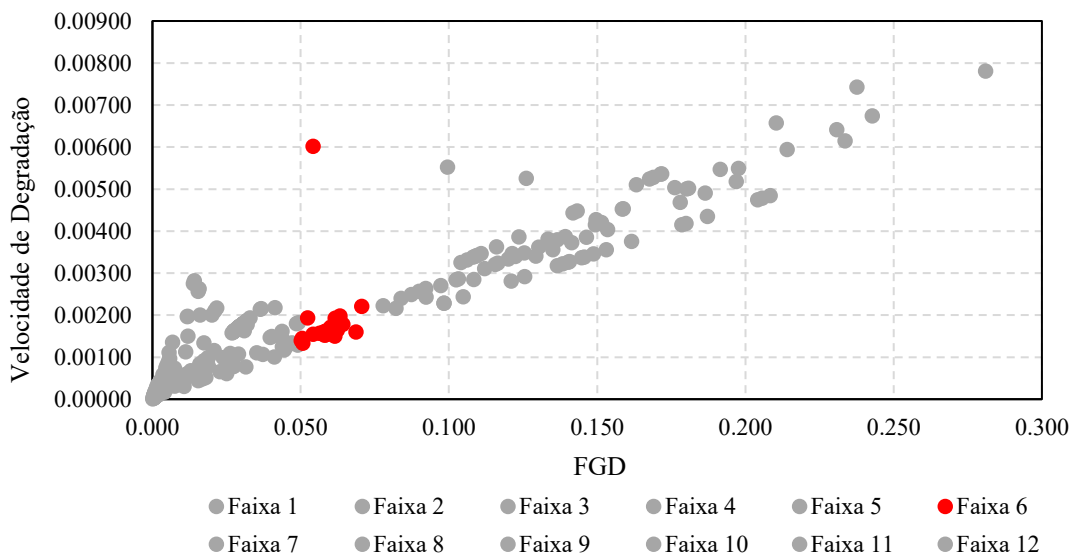
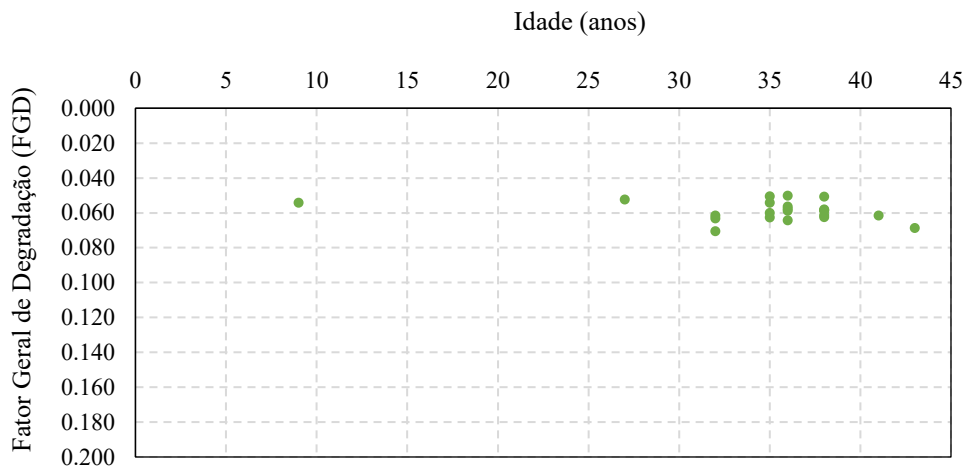


Tabela 30 - Amplitude de velocidade na faixa 6

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
6	0,00133	0,00601	0,00468	0,00186

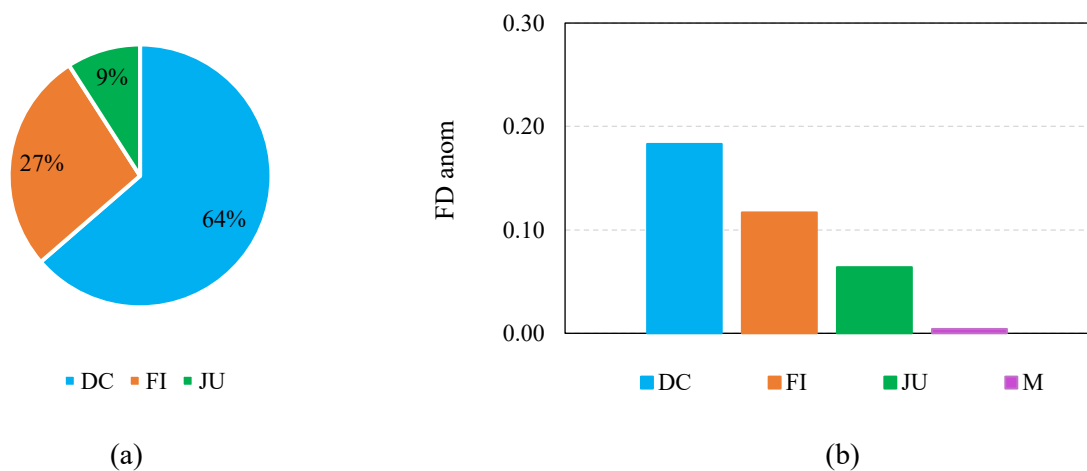
É possível observar na Figura 55 como a distribuição de amostras se diferencia em relação às faixas anteriores. Apenas duas amostras da faixa possuem idade inferior a 30 anos, enquanto o restante das amostras se concentra entre 30 e 40 anos.

Figura 55 - Amostras da faixa 6



Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar divergência ao observado na faixa 1. Na faixa 6 os grupos de anomalias primário e secundário são respectivamente, descolamento e fissuras. Além disso, pela Figura 56 percebe-se que não há amostras na faixa 6 que tem manchas como grupo de anomalia primária.

Figura 56 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 6 (b)



5.5.7 Comportamento das amostras da faixa 7

A faixa 7 possui 10 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. A orientação com maior número de amostras é a Oeste. A faixa 7 é a primeira faixa com amostras que estão classificadas nas três velocidades (baixa, média e alta) e sua distribuição é apresentada na Figura 57. Um única amostra se diferencia da tendência de comportamento da faixa, enquanto as demais apresentam uma relação de linearidade entre o FGD e a velocidade. Assim como na faixa 6, na faixa 7 a alta amplitude de velocidades indicada na Tabela 31 se justifica pelo comportamento de uma amostra que atingiu velocidade superior a 0,0050.

Figura 57 - Comportamento das amostras da faixa 7 com base no FGD e V_D

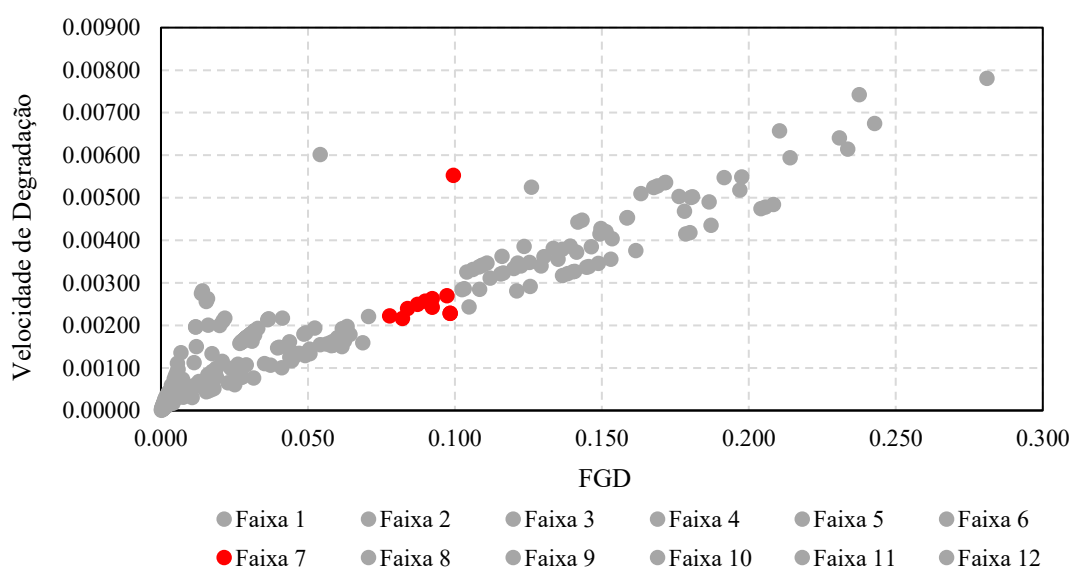
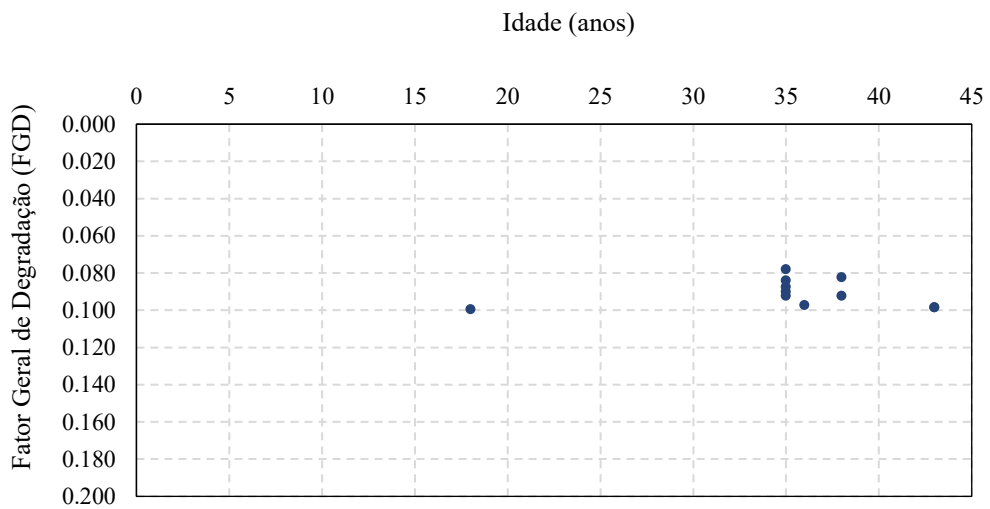


Tabela 31 - Amplitude de velocidade na faixa 7

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
7	0,00216	0,00553	0,00336	0,00270

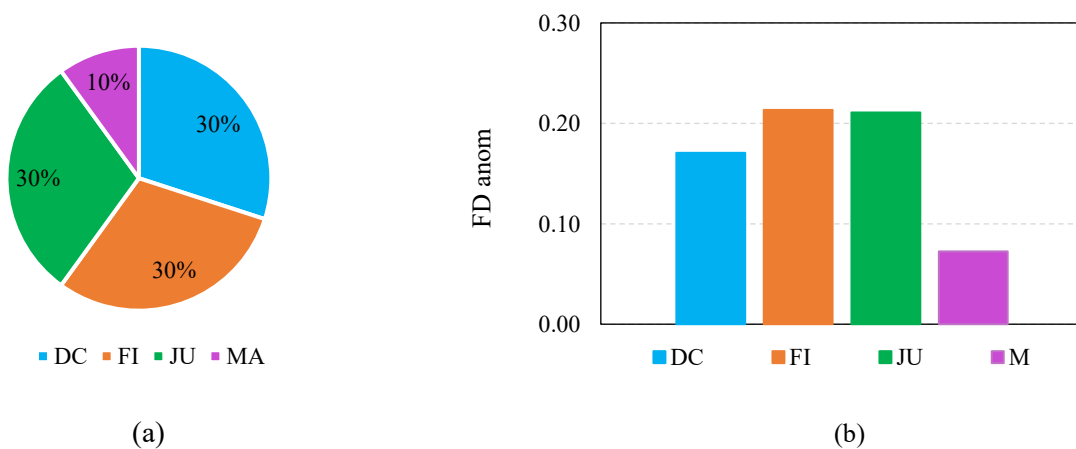
Ao analisar a distribuição das amostras considerando idade e FGD apenas uma amostra tem idade inferior a 20 anos, conforme Figura 58. A observação permite inferir que após ultrapassar o limite último de vida útil de FGD igual a 0,05 as amostras se comportam de forma semelhante na distribuição das idades das faixas, como é nítido na faixa 6 e a 7.

Figura 58 - Amostras da faixa 7



Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar divergência ao observado nas demais faixas. A faixa 7 é a única que não apresenta como grupo de anomalias primário e secundário o descolamento. Na faixa observa-se o grupo de anomalia primário como fissuras, e o secundário como falha nas juntas. Com base na Figura 59, as amostras tem como anomalia primária uma distribuição que passa pelos 4 grupos de anomalias, se diferenciando assim das últimas 4 faixas analisadas. A observação das anomalias primárias (a) e o FDanom das amostradas da faixa indicam uma mudança de comportamento. Os valores de FDanom de fissuras e falha nas juntas ultrapassam descolamento que até então era predominante ao se analisar os grupos de anomalias.

Figura 59 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 7 (b)



5.5.8 Comportamento das amostras da faixa 8

A faixa 8 é composta por 19 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. A orientação com maior número de amostras é a Sul. Apenas uma amostra da faixa é classificada como baixa velocidade. As demais amostras se enquadram na classificação de média velocidade, cuja distribuição e comportamento podem ser observados na Figura 60, que indicam uma tendência linear entre velocidade e FGD. As amostras da faixa 8 apresentam baixa amplitude de velocidade como demonstrado na Tabela 32.

Figura 60 - Comportamento das amostras da faixa 8 com base no FGD e V_D

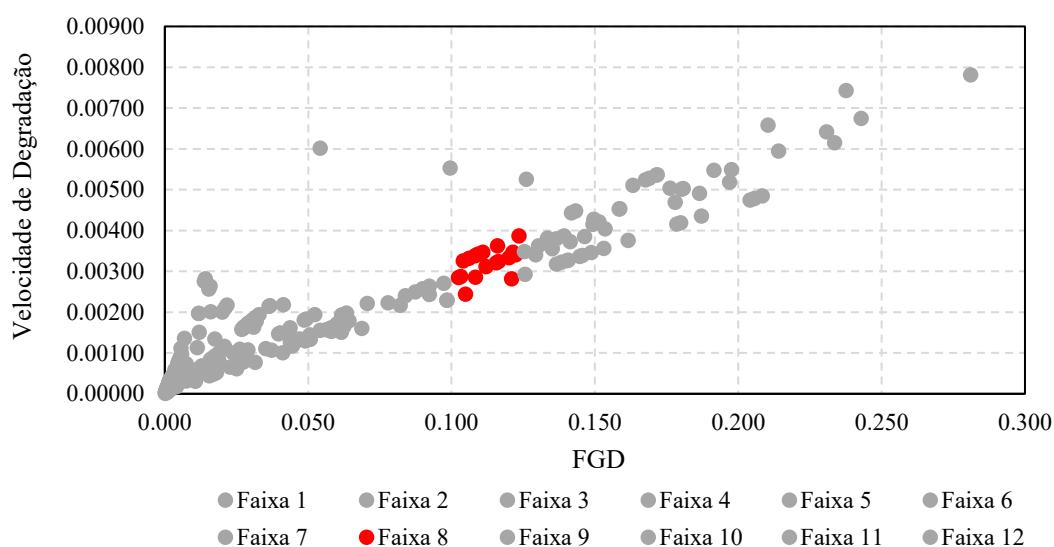
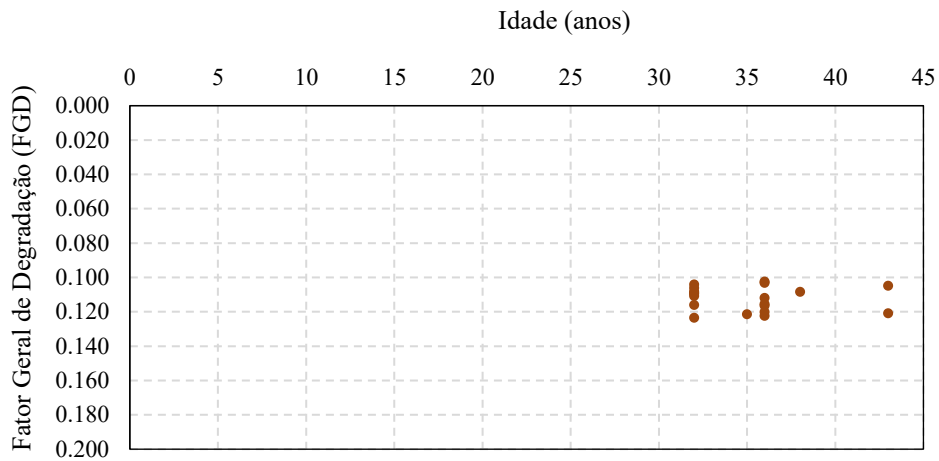


Tabela 32 - Amplitude de velocidade na faixa 8

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
8	0,00244	0,00386	0,00142	0,00323

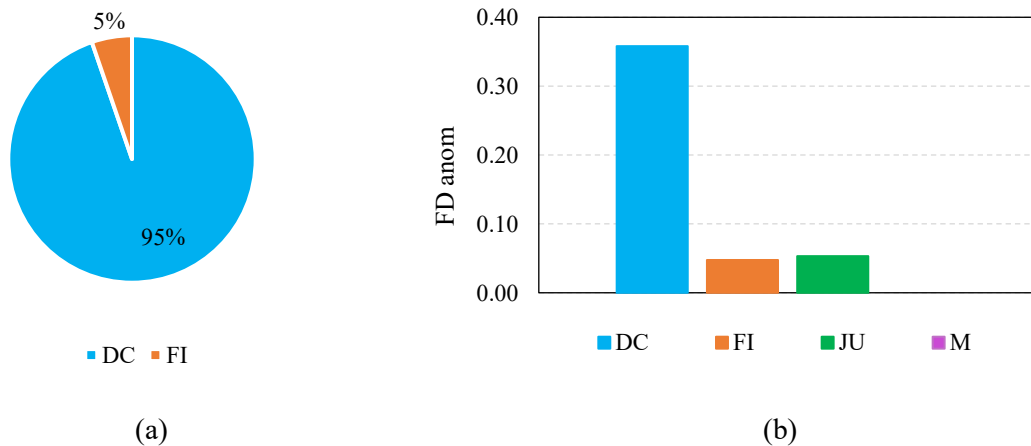
É possível observar na Figura 61 como a distribuição de amostras se diferencia em relação às faixas anteriores. Não há nenhuma amostra com idade inferior a 30 anos. É a primeira faixa de degradação que apresenta um comportamento bem definido em relação à distribuição de amostras pela idade.

Figura 61 - Amostras da faixa 8



Conforme Figura 62 (a), as amostras da faixa 8 se dividem em descolamentos e fissuras como as anomalias primárias. Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar respectivamente para os grupos de anomalias primário e secundário, descolamento e falha nas juntas (b). Com todas as idades superiores a 30 anos, observa-se que descolamento passa a ser novamente o grupo de anomalia dominante.

Figura 62 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 8 (b)



5.5.9 Comportamento das amostras da faixa 9

A faixa 9 contempla 21 amostras, distribuídas na orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. A orientação com maior número de amostras é a Norte, considerada a orientação que mais recebe incidência de radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano em Brasília-DF.

Observação importante a respeito da velocidade de degradação na faixa 9 é que a partir dela, não há mais amostras classificadas como baixa velocidade de degradação. Uma amostra é classificada como alta velocidade e as demais, média. A distribuição das amostras da faixa 9 está destacada na Figura 63. Pela Tabela 33 a amplitude de velocidades volta a aumentar em relação à faixa anterior.

Figura 63 - Comportamento das amostras da faixa 9 com base no FGD e V_D

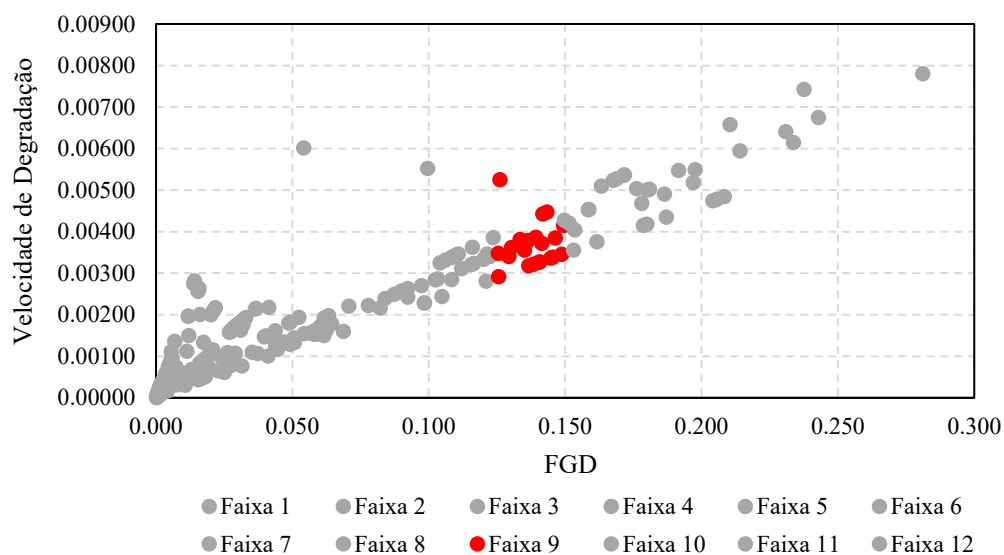
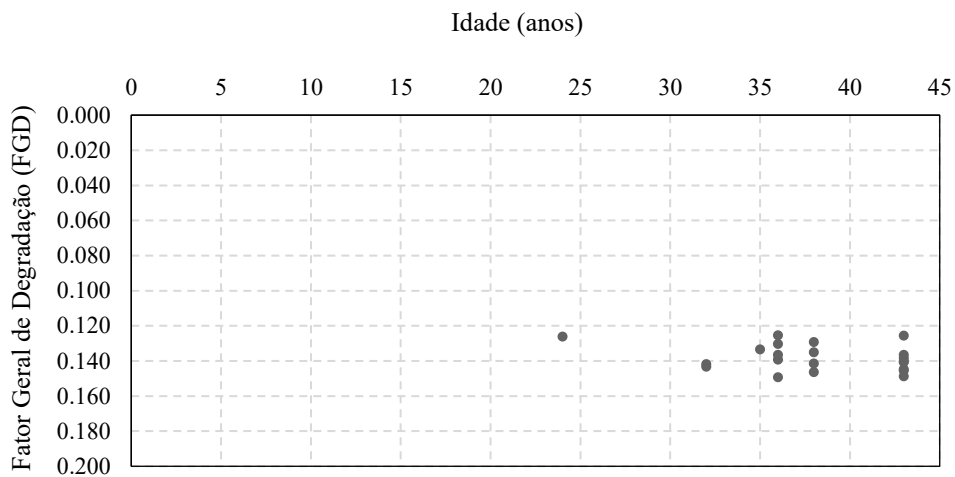


Tabela 33 – Amplitude de velocidade na faixa 9

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
9	0,00292	0,00525	0,00233	0,00369

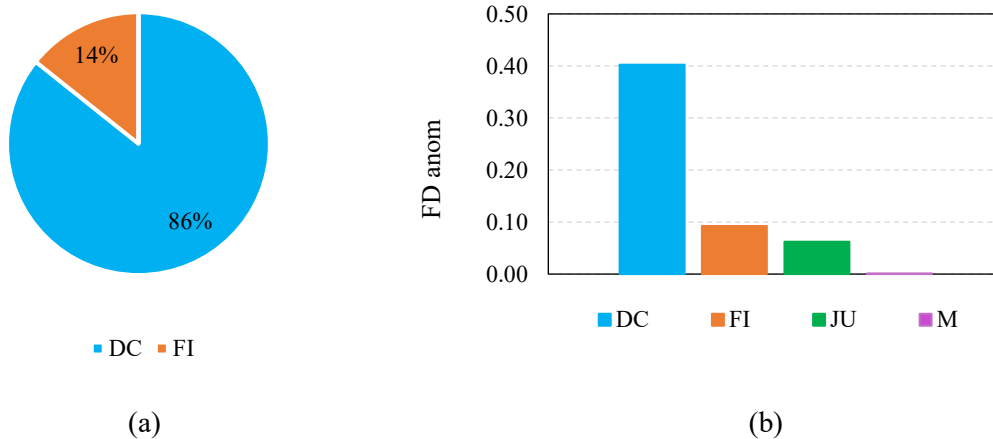
Na Figura 64 é possível observar como as amostras se distribuem, como a apenas uma amostra com idade abaixo de 25 anos, enquanto as demais amostras se concentram após os 30 anos de idade. A amostra com idade mais baixa da faixa pode ter seu comportamento justificado pela falta de proteção da fachada ou alto grau de exposição, o que acarreta em uma degradação mais elevada assim como em amostras de maior idade que estão no mesmo nível de degradação na faixa 9.

Figura 64 - Amostras da faixa 9



Em relação aos grupos de anomalias, os grupos primário e secundário são respectivamente, descolamento e fissuras. A Figura 65 (a) evidencia que todas as amostras da faixa possuem como anomalia primária, descolamentos ou fissuras. Além disso, ao comparar os quatro grupos de anomalias, percebe-se que o descolamento é fortemente dominante (b).

Figura 65 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 9 (b)



5.5.10 Comportamento das amostras da faixa 10

A faixa 10 possui 12 amostras, distribuídas na orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. A faixa 10 é considerada de elevada degradação, o que permite pontuar o grau de exposição também não deve ser uma variável isolada analisada ao se estudar sobre o processo evolutivo

da degradação. Para as amostras da faixa 10 se observa predominância de amostras com média velocidade, com presença de amostras com alta velocidade. A distribuição das amostras da faixa é destacada na Figura 66. Não há uma tendência linear como percebido a partir da faixa 6. Os dados mais dispersos indicam que a degradação que na faixa 10 já é elevada, é influenciada por fatores distintos. A amplitude de velocidade é menor que da faixa anterior como apresentado na Tabela 34.

Figura 66 - Comportamento das amostras da faixa 10 com base no FGD e V_D

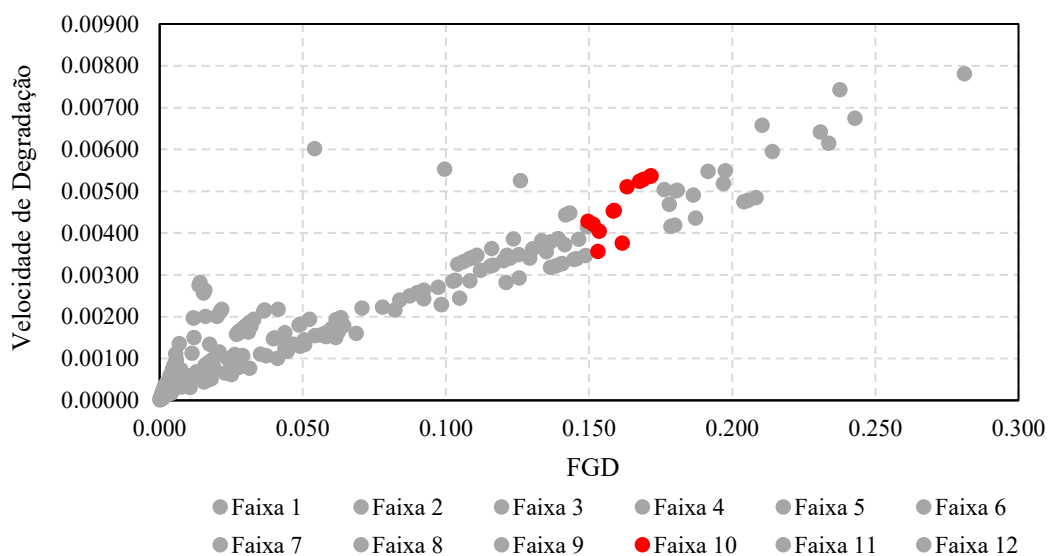
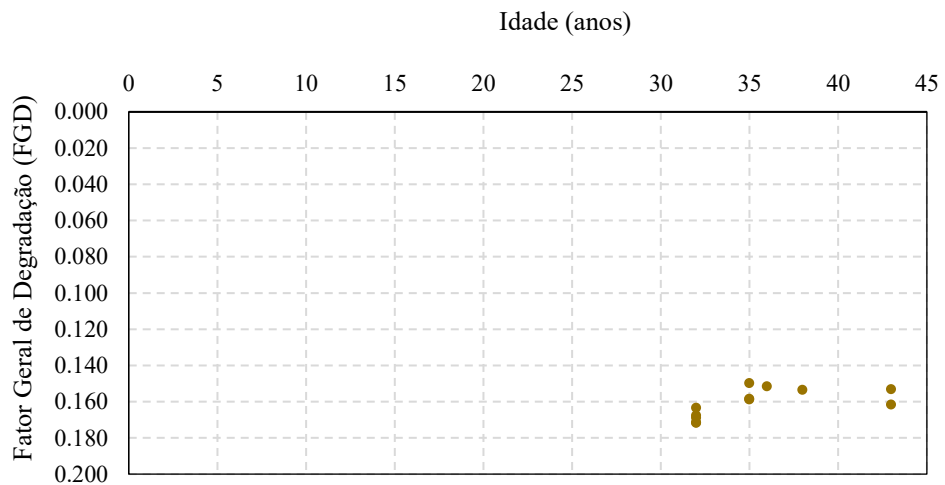


Tabela 34 - Amplitude de velocidade na faixa 10

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
10	0,00356	0,00537	0,00181	0,00460

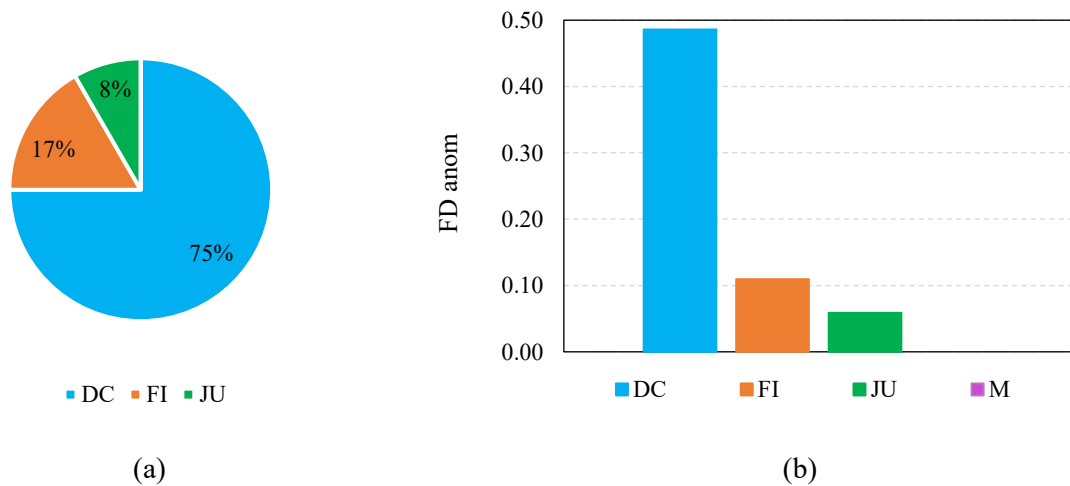
É possível observar na Figura 67 que todas as amostras se concentram após 30 anos de idade. Comportamento condizente com os modelos de degradação de Souza (2019) e Andrade (2022), que associam a maior degradação com maior idade. Degradação em níveis elevados como é o caso da faixa 10 indicam menor variação de idades.

Figura 67 - Amostras da faixa 10.



Em relação aos grupos de anomalias é possível identificar os grupos de anomalias primário e secundário respectivamente, como descolamento e fissuras. Não há amostras na faixa 10 que possuam manchas como grupos de anomalia primária, conforme Figura 68 (a e b). O descolamento se mostra fortemente dominante.

Figura 68 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 10 (b)



5.5.11 Comportamento das amostras da faixa 11

Para a faixa 11 se tem 11 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul e Oeste, não havendo amostras com orientação Leste. A orientação com maior número de amostras é a Norte. Ressalta-se que com predominância da orientação Norte, o grau de exposição com base

nos agentes climáticos de chuva dirigida e radiação solar é considerado elevado. Elevada exposição é um dos fatores que permitem associação também com elevada degradação das amostras componentes desta faixa. A degradação elevada da faixa evidencia um comportamento não linear entre a velocidade e o FGD. Tal comportamento de mudança no perfil de degradação pode ser atribuído à sinergia entre anomalias e fatores que incrementam os mecanismos de degradação. As amostras se dividem com base no índice V_D em média a alta velocidade e distribuição é representada na Figura 69. Pela Tabela 35 é possível identificar que a faixa 11 possui uma amplitude de velocidade menor comparada a outras faixas anteriores.

Figura 69 - Comportamento das amostras da faixa 11 com base no FGD e V_D

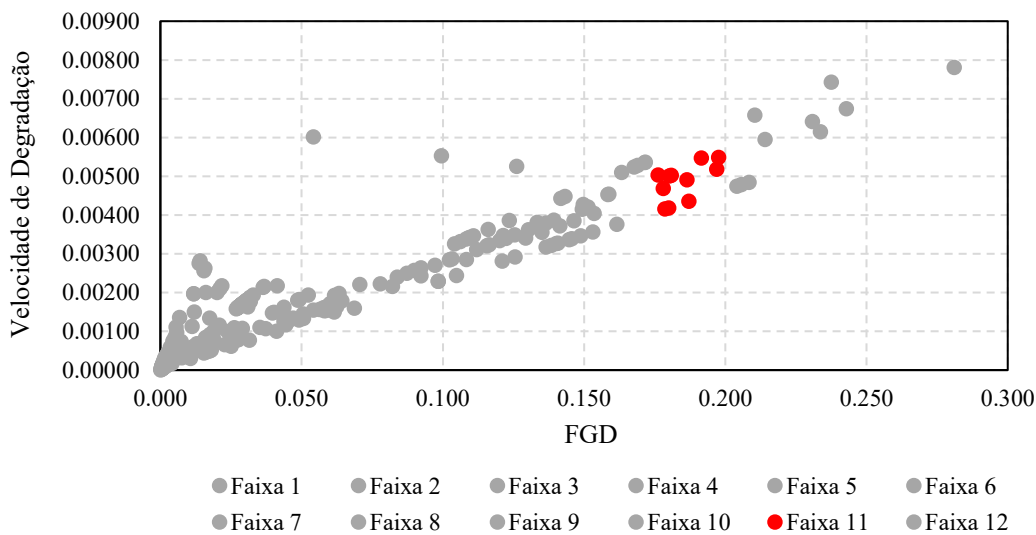
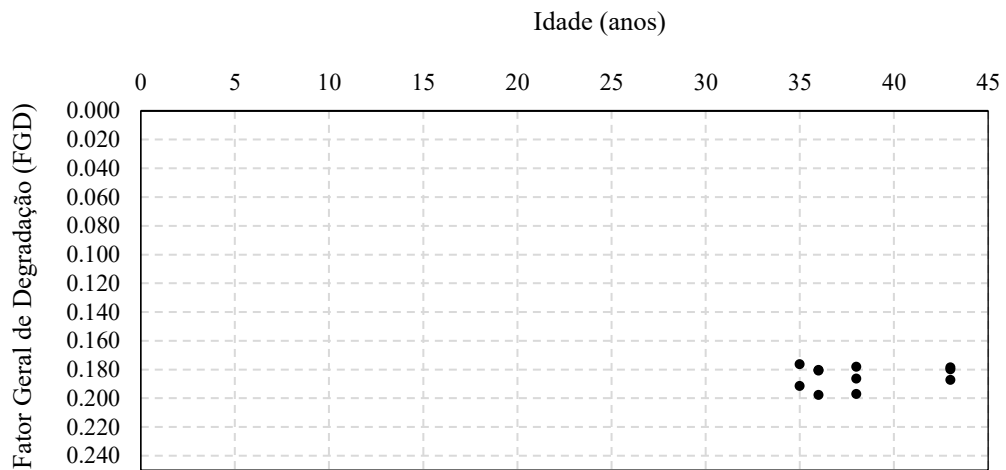


Tabela 35 - Amplitude de velocidade na faixa 11

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
11	0,00415	0,00549	0,00134	0,00486

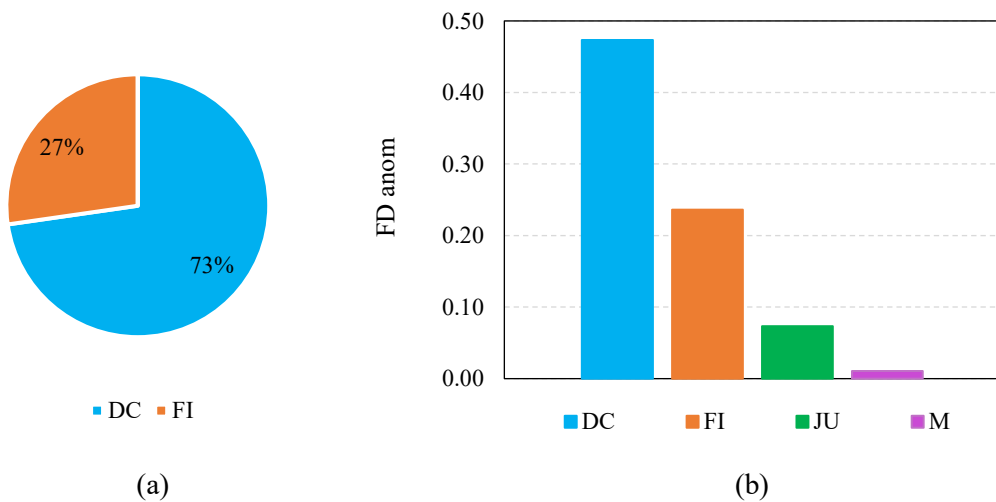
Na Figura 70 está apresentada a distribuição das amostras que compõem a faixa 11 e é possível observar que todas as amostras estão concentradas após 35 anos de idade, revelando que quando maior a faixa de estudo, menor a amplitude de idades.

Figura 70 - Amostras da faixa 11



E assim como na faixa anterior, os grupos de anomalias primário e secundário são respectivamente, descolamento e fissuras. As anomalias primárias das amostras da faixa 11 também se dividem em descolamento e fissuras, como representado na Figura 71 (a), embora tenha presença dos quatro grupos de anomalias (b).

Figura 71 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 11 (b)



5.5.12 Comportamento das amostras da faixa 12

A última faixa da base de dados possui 10 amostras, distribuídas nas orientações Norte, Sul e Oeste. Predomina na faixa amostras com alta velocidade de degradação, embora existam também amostras classificadas com média velocidade. A representação pode ser

visualizada na Figura 72. É possível observar que apesar de dados dispersos, eles possuem tendência linear. Pela Tabela 36 a amplitude de velocidade volta a aumentar considerando as faixas anteriores.

Figura 72 - Comportamento das amostras da faixa 12 com base no FGD e V_D

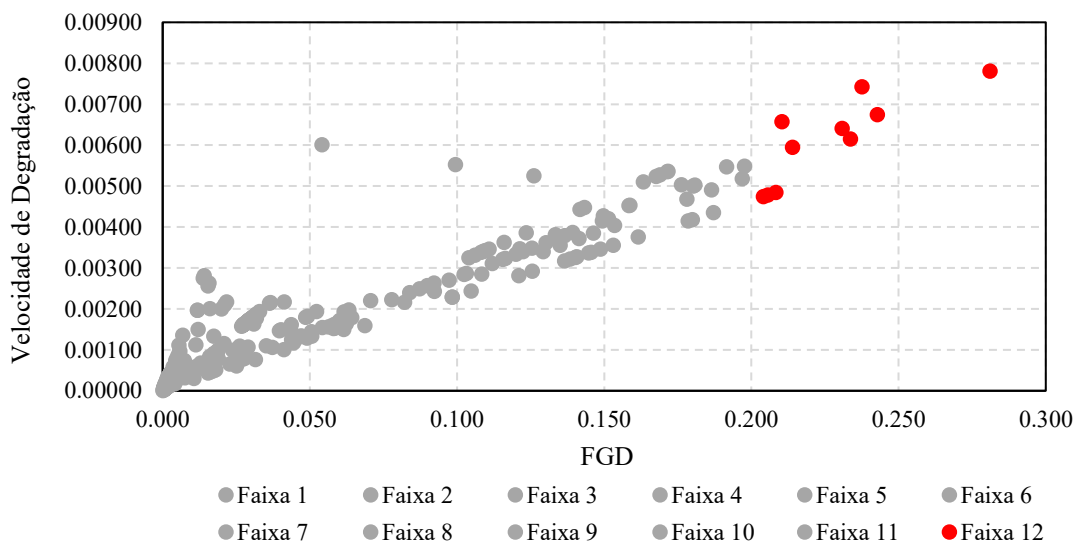
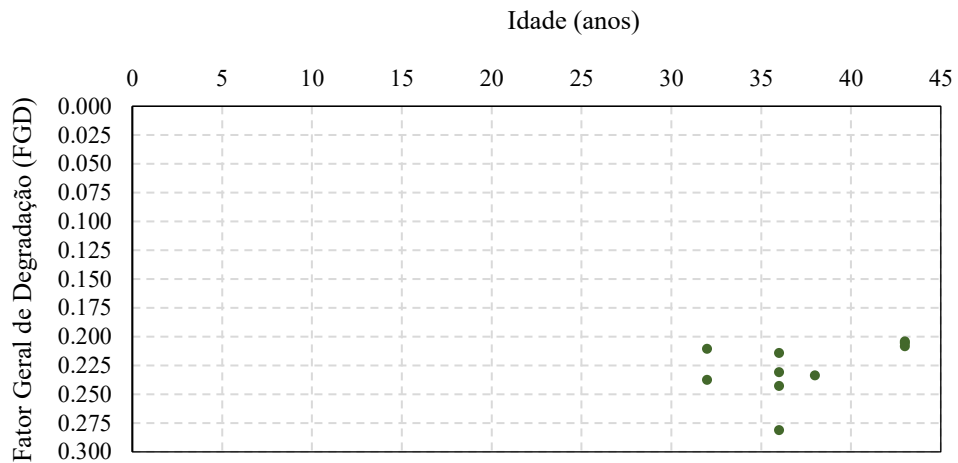


Tabela 36 - Amplitude de velocidade na faixa 12

Faixa	Velocidade mínima	Velocidade máxima	Amplitude de velocidade	Velocidade média
12	0,00475	0,00781	0,00306	0,00614

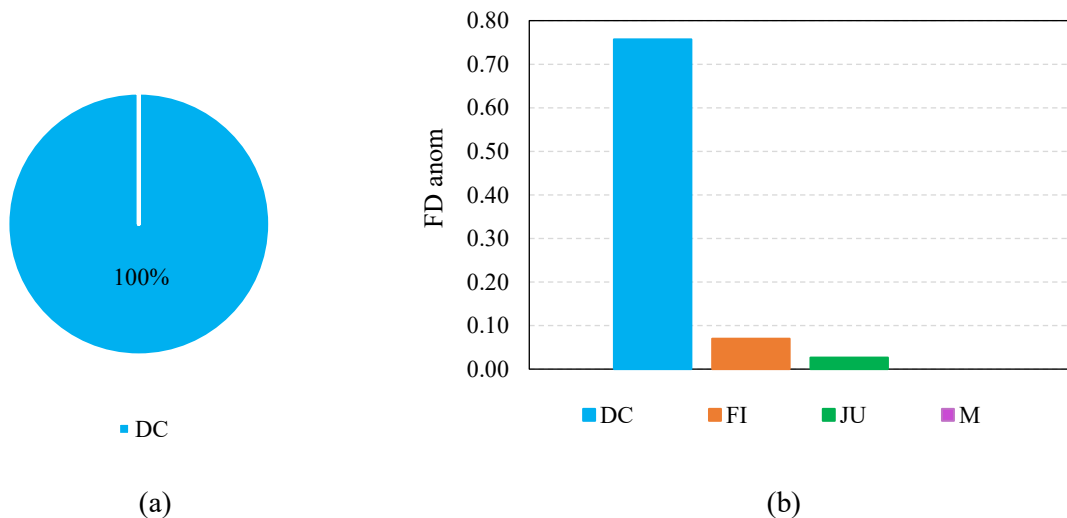
Conforme apresentado na Figura 73 todas as amostras possuem idade superior a 30 anos. Comportamento este, que também é coerente com modelos de degradação convencionais e bastante explorados em que a degradação elevada está associada a idades elevadas.

Figura 73 - Amostras da faixa 12



Em relação aos grupos de anomalias, assim como nas quatro últimas faixas de análise, os grupos primário e secundário são descolamento e fissuras (Figura 74). Tal comportamento evidencia que em altos níveis de degradação o descolamento e as fissuras são as anomalias mais significativas. Quando em estágios avançados da degradação, o comum é que as anomalias se manifestem em áreas ainda maiores. E todas as amostras da faixa apresentam como anomalia primária o descolamento.

Figura 74 - Ocorrência de anomalias primárias (a) e FDanom nas amostras da faixa 12 (b)



5.6 Investigação dos *outliers*

Os *outliers* são considerados nos estudo como uma condição em que se tem amostras em idades altas para faixas de degradação muito baixa em relação a tendência ou ainda idades muito baixas para faixas em que a degradação já está elevada. Em ambos os casos são comportamentos que se diferem da tendência. A importância de tal investigação esta no fato de buscar identificar nas amostras classificadas como *outliers* possíveis características como grau de proteção ou exposição ou ainda localização da amostra em pontos críticos da fachada, que possam explicar comportamentos individuais de amostras da base de dados.

Para tal investigação, as 12 faixas são divididas em dois grupos: um grupo com faixas de FGD menor que 0,05 e um segundo grupo com amostras que possuem FGD maior que 0,05, que é o critério de limite último de vida útil.

Partindo da divisão citada, para cada grupo é adotado um critério para definição do que é considerado um *outlier* no estudo, ressaltando que é uma abordagem específica para a presente abordagem, com intuito de buscar explicações para amostras que fogem do comportamento esperado para seu grupo e faixa. O critério e a organização adotada podem ser visualizados na Tabela 37. Com a identificação dos *outliers* a análise envolve a identificação da amostra, o grau de exposição e orientação, além do fato da faixa analisada ser de elevada ou baixa exposição.

Tabela 37 - Critério para *outliers* das faixas estudadas

Grupo	FGD	Faixas	Critério
1	< 0,05	1, 2, 3, 4 e 5	40% maior que a idade média da faixa
2	> 0,05	6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12	40% menor que a idade média da faixa

Nas 5 primeiras faixas de estudo, nomeadas de grupo 1, os *outliers* são aquelas amostras que tem idade 40 % superior à média de idade de cada faixa. Esse critério é definido com base na premissa de que em amostras com baixa degradação, o comum é que se tenha amostras com idades mais baixas. Para a faixa 1 a idade média das amostras é 12 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 16,8 anos são consideradas *outliers*. Na Tabela 38 podem ser visualizadas tais amostras, bom como suas características. A faixa 1 é a faixa com amostras com menor degradação da base de dados, e ao analisar os *outliers*, assim como a faixa completa, não é perceptível nenhum comportamento padrão que

justifique a ocorrência. Interessante pontuar que a maioria das amstras são de baixo ou médio grau de exposição.

Tabela 38 - *Outliers* da faixa 1

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grua de Exposição	FGD	Velocidade
A16.7	17	6	Norte	1,0	0,001	0,00004
A16.8	17	6	Oeste	0,76	0,001	0,00005
A16.9	17	6	Sul	0,50	0,001	0,00007
A17.7	17	6	Norte	1,00	0,003	0,00016
A17.8	17	6	Sul	0,50	0,001	0,00004
A17.9	17	6	Leste	0,77	0,002	0,00010
A18.7	17	6	Oeste	0,76	0,002	0,00010
A18.8	17	6	Sul	0,50	0,001	0,00008
A18.9	17	6	Leste	0,77	0,002	0,00012
A19.7	17	6	Oeste	0,76	0,001	0,00004
A19.8	17	6	Leste	0,77	0,005	0,00031
A19.9	17	6	Norte	1,00	0,002	0,00010
A20.7	17	6	Sul	0,50	0,002	0,00014
A20.8	17	6	Leste	0,77	0,002	0,00012
A20.9	17	6	Oeste	0,76	0,001	0,00003
A21.7	17	6	Leste	0,77	0,000	0,00002
A21.8	17	6	Norte	1,00	0,003	0,00018
A21.9	17	6	Oeste	0,76	0,001	0,00004
A22.7	17	6	Leste	0,77	0,006	0,00036
A22.8	17	6	Norte	1,00	0,004	0,00025
A14.1	18	4	Oeste	0,76	0,005	0,00029
A14.4	18	4	Oeste	0,76	0,000	0,00002
A14.5	18	4	Oeste	0,76	0,002	0,00010
A14.6	18	4	Oeste	0,76	0,000	0,00001
A14.8	18	4	Oeste	0,76	0,003	0,00017
A14.9	18	4	Oeste	0,76	0,001	0,00004
A14.14	18	4	Leste	0,77	0,001	0,00005
A14.15	18	4	Leste	0,77	0,001	0,00005
A14.16	18	4	Leste	0,77	0,009	0,00051
A14.18	18	4	Leste	0,77	0,001	0,00006
A14.19	18	4	Leste	0,77	0,001	0,00008
A14.20	18	4	Norte	1,00	0,007	0,00037
A14.21	18	4	Sul	0,50	0,002	0,00012
A12.4	19	11	Sul	0,50	0,008	0,00041
A36.3	24	6	Leste	0,77	0,009	0,00039
A36.4	24	6	Leste	0,77	0,004	0,00017
A36.6	24	6	Leste	0,77	0,009	0,00039
A36.9	24	6	Leste	0,77	0,008	0,00032

Para a faixa 2 a idade média das amostras é 18 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 25,5 anos são consideradas *outliers*. Cinco amostras de enquadram no critério adotado, conforme apresentado na Tabela 39. Para as faixas 1 e 2 observa-se que não há um fator único característico ou alguma predominância que justifique a classificação das amostras como *outliers*.

Tabela 39 - *Outliers* da faixa 2

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A33.7	35	6	Sul	0,50	0,015	0,00044
A34.9	35	6	Leste	0,77	0,011	0,00030
A35.3	35	6	Oeste	0,76	0,017	0,00049
A35.4	35	6	Oeste	0,76	0,016	0,00046
A34.11	35	6	Sul	0,50	0,018	0,00051

A faixa 3 conta com 8 amostras classificadas como *outlier* (Tabela 40). Para a faixa 3 a idade média das amostras é 17 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 23,8 anos são consideradas *outliers*. Nas faixas 2 e 3 observa-se que nenhuma das amostras são de orientação Norte e com elevado grau de exposição.

Tabela 40 - *Outliers* da faixa 3

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A38.1	27	6	Oeste	0,76	0,029	0,00107
A33.5	35	6	Sul	0,50	0,027	0,00078
A34.4	35	6	Oeste	0,76	0,028	0,00079
A34.10	35	6	Leste	0,77	0,023	0,00065
A35.1	35	6	Oeste	0,76	0,026	0,00074
A36.1	24	6	Leste	0,77	0,026	0,00109
A36.8	24	6	Leste	0,77	0,024	0,00099
A37.4	41	6	Leste	0,77	0,025	0,00061

Para a faixa 4 a idade média das amostras é 18 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 25,5 anos são consideradas *outliers*. Conforme apresentado na Tabela 41, três amostras da faixa são incluídas no comportamento que foge ao padrão esperado para a faixa, uma vez que a faixa 4 ainda possui baixa degradação e não ultrapassou o limite de FGD de 0,05. Observa-se que as amostras são de edifícios distintos.

Tabela 41 - *Outliers* da faixa 4

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A6.11	32	6	Sul	0,50	0,035	0,00110
A33.9	35	6	Sul	0,50	0,037	0,00106
A37.3	41	6	Leste	0,77	0,031	0,00077

Para a faixa 5 a idade média das amostras é 26 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 36,4 anos são consideradas *outliers*. Pelas informações apresentadas na Tabela 42, cinco amostras fogem do padrão esperado para a faixa com base do critério determinado.

Tabela 42 - *Outliers* da faixa 5

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A32.1	38	6	Norte	1,00	0,049	0,00129
A33.3	35	6	Sul	0,50	0,044	0,00125
A35.10	35	6	Leste	0,77	0,047	0,00134
A42.5	38	6	Sul	0,50	0,044	0,00117
A37.2	41	6	Leste	0,77	0,041	0,00100

Para as faixas 6 e 7 a idade média das amostras é 35 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 21 anos são consideradas *outliers*. Com base no critério adotado para as faixas pertencentes ao grupo 2, e no que está representado nas Tabelas 43 e 44, apenas uma amostra na faixa 6 e uma na faixa 7, se enquadram como *outliers*. Para ambas as faixas o nível de exposição é considerado médio, e a orientação é leste.

Tabela 43 - *Outliers* da faixa 6

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A2.1	9	6	Leste	0,77	0,054	0,00601

Tabela 44 - *Outliers* da faixa 7

Amostra	Idade	n° de pavimentos	Orientação	Grau de Exposição	FGD	Velocidade
A14.13	18	4	Leste	0,77	0,099	0,00553

Para as faixas 8 e 10 a idade média das amostras é 35 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 21 anos são consideradas *outliers*. Para as últimas faixas do estudo, faixas 9, 11 e 12, a idade média das amostras é 38 anos e com base no critério adotado, amostras com idade igual ou superior a 22,8 anos são consideradas *outliers*. Partindo do critério estabelecido verifica-se que para as faixas citadas nenhuma amostra se enquadra como *outlier*. Tal observação pode ser justificada pelo fato de que a idade das amostras tem uma relevância maior, quanto maior é a sua degradação. O comportamento das amostras das faixas de 8 a 12 são coerentes com os modelos propostos por Souza (2019) e Andrade (2022) para a mesma base de dados e cidade de estudo.

Para o *outliers* elencados com base nos critérios propostos para as faixas de estudo, destaca-se que não há predominância ou um único fator capaz de explicar a tendência amostral. Tal fato se deve pela complexidade do processo da degradação e da sua evolução e também por questões de época de construção, mão de obra distinta e materiais não monitorados que podem ser fatores específicos que dificultam justificativa única e precisa.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Perfis de comportamento da degradação

Vários autores discutem a evolução da degradação na base de dados em estudo em modelos de vida útil, sendo para o caso da base de dados utilizada definido o valor de FGD de 0,05 como limite de vida útil (Bauer *et al.*, 2018; Souza, 2019; Souza *et al.*, 2019; Souza e Bauer, 2020;). A utilização do valor como limite deixa claro a existência de duas fases ao longo da degradação de elementos construtivos, agrupando comportamentos antes e depois do limite último de vida útil. Esse valor de FGD acima do limite indica que o sistema de revestimento não está em conformidade com a função principal para a qual foi projetado e que há necessidade urgente de manutenção. O estado limite de degradação pode variar conforme os critérios exigidos e até mesmo particularidades da base de dados ou enfoque da pesquisa, não apresentando um valor único ou fixo de 0,05. Observa-se ainda que existem mais variáveis de comportamento para além da consideração de antes e depois do limite de vida útil.

A velocidade maior e uma gravidade mais considerável da ocorrência de anomalias se deve ao fato de que nesta fase, as anomalias existem de forma simultânea e agem sobre outras como fatores agravantes. Com referência no valor de $FGD = 0,05$, considera-se que as amostras com valores inferiores ao limite estão em iniciação da degradação. Fase na qual as anomalias são individuais e pontuais, característica do que acontece nas primeiras idades. Acima do valor limite, a hipótese é que as condições do revestimento que já estão comprometidas, com anomalias sobrepostas e em casos mais graves, uma anomalia se transforma em outra, em função da exposição e dos agentes atuantes, principalmente de origem climática.

Ao analisar o comportamento da degradação nas 12 faixas segmentadas no estudo, observa-se que as faixas são coerentes com modelos de degradação desenvolvidos por Gaspar e Brito (2008), Bordalo *et al.*, (2010), Souza (2019) e Andrade (2022). Os modelos ponderam a idade como uma das principais variáveis de degradação. Para índices mais elevados de degradação quantificados através do FGD tem-se associadas amostras com maior idade.

Pela complexidade do processo de degradação e pelo número de fatores e variáveis envolvidas, quanto mais se souber e mais detalhes obter mais fácil evoluir na área e contribuir de maneira eficiente para os problemas e anomalias que tanto acometem as fachadas de edifícios em Brasília. Além da necessidade de um estudo detalhado em termos de investigação da degradação, é necessário se atentar ao fato das particularidades que devem ser consideradas para cada estudo. O atual estudo e proposições apresentadas se referem à realidade da base de

dados para a cidade de Brasília - DF, vinculada aos seus aspectos construtivos, exposição aos agentes e mecanismos dominantes. Comparar modelos ou empregar índices e classificações de bases muito diferentes, como no caso de países ou mesmo regiões do Brasil com climas, características geográficas ou de relevo, e técnicas construtivas distintos, pode levar a resultados que não refletem a realidade observada, necessitando de ajustes ou correções (Bauer e Souza, 2022; Souza *et al.*, 2024). Não basta replicar um estudo ou utilizar os índices de quantificação já existentes, é recomendado uma interpretação crítica das características inerentes a cada base de dados.

É evidente que a degradação de revestimentos cerâmicos nas fachadas analisadas da cidade de Brasília - DF se comporta de maneira distinta do momento em começam a aparecer os primeiros sinais de degradação até as fases mais severas, em que anomalias afetam em conjunto maiores áreas e extensões. O início dos defeitos pode inclusive ser atribuído não à degradação propriamente dita, mas sim como consequências da própria execução ou qualidade dos materiais empregados.

Com intuito de investigar essas relações, Bauer e Souza (2022) em um estudo realizado sobre as zonas de degradação, dividem amostras em grupos (A, B e C). Os grupos classificados em ordem crescente com base no valor de FGD representam níveis de degradação diferentes: grupo A, corresponde a uma menor degradação, geralmente associada a idades mais baixas, grupo B representa uma degradação intermediária, mas dentro do limite de vida útil e o grupo C se refere a uma degradação avançada, acima do limite de degradação da vida útil. Os grupos A e B referem-se à fase de início da degradação, abaixo do limite de vida útil ($FGD < 0,05$), e o grupo C à fase de propagação da degradação, quando já ultrapassa o limite de vida útil. No estudo a avaliação da incidência ou frequência de degradação é aplicada às zonas e ao estudo de anomalias. Analisando o comportamento da degradação fica evidente que o incremento do FGD é claramente acompanhado pelo incremento da frequência de anomalias nas zonas, indicando assim a existência de heterogeneidade na evolução da degradação.

Particularidades de comportamento e evolução são observadas também em outros sistemas de fachadas com revestimento em argamassa. Gaspar e De Brito (2003) pontuam que a perda de desempenho de rebocos de argamassa tem um padrão de deterioração de três fases. A iniciação começa logo após a aplicação, durante a qual ocorrem defeitos iniciais, como rachaduras por retração do reboco ou manchas nas superfícies verticais do envelope construído devido a defeitos de construção, como condições desfavoráveis de secagem da argamassa, ou devido aos efeitos da chuva e do vento. A maturação pode ser definida como um período durante o qual a deterioração aparentemente diminui, mas na realidade continua

microscopicamente devido a ciclos de umidificação e secagem, ação da radiação solar, ataque de sulfato ou efeitos de carbonatação, ou ainda devido à ação combinada de dois ou mais agentes de degradação. A última fase, considerada de deterioração tardia já no final da vida útil, é o período em que a degradação realmente aumenta devido à entropia de diferentes fontes de defeitos, como deterioração da superfície, perda de adesão e manchas de umidade e poluição, na maioria das vezes combinadas entre si.

Em um estudo sobre aparecimento de bolhas em superfícies poliméricas, como revestimentos anticorrosivos e asfaltos modificados por polímeros, há indicativos de que as bolhas surgem quando expostas à umidade e ao ar e se comportam de maneira distinta com o decorrer do tempo sob determinadas condições. As bolhas iniciam em locais com baixa tensão crítica de adesão e/ou alta concentração de soluto. A propagação das bolhas pode ocorrer de duas formas distintas. Quando há deformação, aumentando assim seu ângulo de contato ou quando há crescimento, aumentando assim seu raio. A deformação pode fazer com que o revestimento exceda seu alongamento máximo, que então se rompe. No caso ideal, a deformação e o crescimento param após algum tempo, e o revestimento permanece protegido, ou seja, atua como uma barreira ao transporte (Effendy, *et al.*, 2021).

A velocidade de degradação é mais um indicador de degradação que permite quantificar como o processo evolui ao longo do tempo, de forma a tentar explicar as variações e particularidades inerentes ao processo de degradação. Embora os indicadores apresentados sejam capazes de mensurar de alguma forma o processo de degradação, existem particularidades entre eles. O FGD e o VD consideram variáveis distintas para alcançar o índice desejado. Enquanto o FGD pondera sobre as anomalias e considera a influência e a importância de cada tipo de anomalia presente no fenômeno de degradação o VD acrescenta o fator tempo, ao passo que considera a idade das amostras. A utilização do índice de velocidade da degradação agrega na evolução dos estudos da área, uma vez que a degradação está diretamente relacionada com a perda de desempenho que acomete o sistema ou elemento ao longo do tempo. Além do mais, em diversos estudos fica evidente que a variável idade é umas das mais relevantes nos estudos relacionados a degradação de fachadas e seus elementos.

Com base no índice V_D as amostras são classificadas como de baixa, média e alta velocidade. Além no valor número a classificação reflete na prática em comportamentos distintos. Admite-se que as amostras com baixa velocidade de degradação, classificadas nas primeiras faixas de subdivisão, apresentam poucos danos, de forma pontual e que evoluem lentamente. Na maioria desses casos, não há necessidade de intervenções severas ou onerosas. Manutenções periódicas já são capazes de minimizar os danos. Para as amostras com velocidade

média de degradação, é possível a existência de mais de uma anomalia e necessidade de atividades de manutenção e reparo para que o elemento ou sistema continue cumprindo suas funções. Para as amostras que já apresentam alta velocidade de degradação, é comum que apresentem várias anomalias, inclusive sobrepostas, e que a funcionalidade da fachada esteja drasticamente afetada. Em casos com tal severidade as atividades de manutenção e reparo se tornam de custos elevados e quanto mais adiadas mais complexas se tornam.

O surgimento das anomalias podem ser fruto da degradação, ocasionada pela ativação de mecanismos por agentes, principalmente climáticos. Para a base de dados em estudo, que apresenta revestimento cerâmico nas fachadas dos edifícios, o que predomina é o descolamento. O descolamento cerâmico, tem como características falhas ou rupturas na interface, que ocorrem geralmente devido a incompatibilidade das propriedades de resistência dos materiais constituintes do sistema de revestimento, isto é, esforços que excedem a capacidade de aderência entre as camadas (Silvestre, 2005; Bordalo *et al.*, 2010; Gaspar e de Brito, 2008). Outras causas que permitem o desenvolvimento do descolamento cerâmico estão relacionadas à movimentação excessiva do edifício, à expansão das cerâmicas, devido à expansão por umidade e/ou dilatação térmica, ao erro na especificação e execução de argamassa colante e até mesmo pela falta de manutenção (Chagas, 2009; Flores-Colen *et al.*, 2010; Souza 2019, Carretero-Ayuso *et al.*, 2021).

Como problema secundário, são pontuadas nas faixas as fissuras. A ocorrência de fissuras no sistema de revestimento pode comprometer o desempenho quanto a estanqueidade. A presença de fissuras permite o ingresso de umidade no sistema podendo surgir outras anomalias, tais como manchas, eflorescências, falha nas juntas e até mesmo descolamento cerâmico (Chagas, 2009; Santos, 2017; Souza, 2019).

Em seus estudos Souza (2019) aponta o descolamento cerâmico e fissuração como as anomalias que mais interferem no desempenho do sistema de revestimento cerâmico. Além disso, pontua que a anomalia maior valor de importância relativa no estudo de mensuração da degradação é o descolamento cerâmico. As observações sobre o grupo de anomalia primário convergem com os estudos de Bauer *et al.* (2010) que consideram o descolamento cerâmico como a anomalia mais grave. A existência da anomalia de descolamento cerâmico na fachada é capaz inclusive, de afetar a segurança dos usuários, exigindo urgência na reparação, que pode ser um processo com elevado custo (Souza *et al.*, 2019).

As anomalias identificadas nas amostras prejudicam em maior ou menor grau a funcionalidade das fachadas, sua estética e impactam diretamente usuários (Carretero-Ayuso, *et al.*, 2019; Carretero-Ayuso, *et al.*, 2021). Conhecer de forma minuciosa o que está por trás

do seu aparecimento e evolução é uma ferramenta de auxílio para tomadas de decisões em casos de reparo e também na concepção de novos projetos.

Para além da divisão principal em duas fases partindo do valor de FGD de 0,05 proposto por Souza (2019), o presente estudo propõe uma subdivisão em três fases distintas identificadas após o estudo da base de dados e sua segmentação em 12 faixas. A proposta se baseia no fato de que uma divisão ainda mais segmentada e minuciosa é capaz de dar como resposta, detalhes mais precisos e específicos que traduzam o comportamento singular da degradação em cada uma das duas fases.

Avaliando o comportamento das anomalias nas faixas de estudo da base de dados, algumas tendências marcantes são observadas. O descolamento atinge os maiores valores e é dominante na maioria das fases. Com intuito de visualizar melhor o comportamento da anomalia de maior impacto nas amostras da base de dados é proposto o I_{DC} que corresponde ao índice de descolamento de cada faixa, em relação ao seu maior valor atingido na faixa 12. O índice é calculado através da Equação 6:

$$I_{DC} = \frac{DC_n}{DC_{12}} \quad (6)$$

Onde:

I_{DC} : índice de descolamento de cada faixa

DC_n : descolamento da faixa

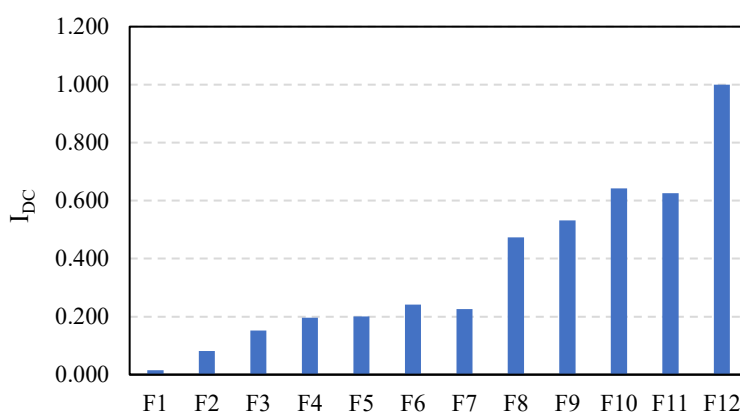
DC_{12} : descolamento da faixa 12

Os valores encontrados para o índice podem ser visualizados na Tabela 45 e Figura 75. Os valores crescentes indicam que com o aumento da degradação o descolamento se torna mais relevante e severo. Exceção da tendência crescente dos valores é observada nas faixas 7 e 11. Na faixa 7 em relação aos quatro grupos de anomalias, como apresentado nos resultados, é uma condição atípica, em que valores de FD_{anom} são semelhantes sem a predominância de descolamento. Tal fato pode ser justificado por alguma condição específica das amostras e edifícios componentes da faixa, que envolvam agentes de degradação e o grau de proteção. A faixa 11 que possui amostras em elevada degradação indicou uma leve diminuição em relação à faixa anterior. Com degradação intensa mais fatores estão envolvidos no seu processo evolutivo, situação na qual é comum também a sinergia entre agentes e mecanismos.

Tabela 45 - Índice de descolamento para as faixas de degradação

Faixa	Idc
1	0,015
2	0,081
3	0,152
4	0,196
5	0,201
6	0,242
7	0,226
8	0,473
9	0,532
10	0,642
11	0,625
12	1,000

Figura 75 - Índice de descolamento nas 12 faixas



6.2 Fases da Degradação

A fase inicial da degradação apresenta algumas particularidades de comportamento, inclusive em relação às anomalias, que são produto do processo de degradação. Na iniciação da degradação, especialmente nas faixas 1 e 2, o índice de FD_{anom} é similar em ordem de grandeza para os quatro grupos. Para as duas primeiras faixas se tem uma consideração importante de possíveis falhas no processo de construção, além de não conformidades envolvendo execução ou materiais.

Para o início da degradação percebe-se que os mecanismos envolvidos são específicos e sem grandes interações entre eles. Ocorre ação de agentes por meio da incidência da água da chuva e radiação solar influenciados pela orientação e microclima e também as

movimentações diferenciais que causam danos com baixa gravidade e muitas vezes em áreas menores.

Sequencialmente no comportamento evolutivo da degradação algumas considerações podem ser pontuadas na fase de propagação. Ao comparar com a iniciação é perceptível o incremento da degradação em um nível significativo. A degradação é maior porque tem efeitos cumulativos do sequenciamento de ação de agentes associados à degradação, a ocorrência de fadiga e também de carregamentos cíclicos (Uchôa, 2015).

Ponto relevante sobre as anomalias é que há maior extensão de área acometida por anomalias. Para a propagação observa-se que há avanço da degradação para além do limite último de vida útil. Do decorrer das faixas enquadradas na propagação da degradação o efeito sinérgico já é observado de forma significativa entre mecanismos e nos próprios efeitos das anomalias, o que torna atividades de reparo e manutenção mais onerosas e difíceis.

A área afetada por anomalias na fase de aceleração é consideravelmente maior, além do que, ocorre a sobreposição de anomalias. Para a fase mais grave e complexa da degradação em uma mesma fachada é possível encontrar zonas em diferentes fases de degradação que exigem ações específicas para abordagens de reparo e manutenção. Inclusive os materiais utilizados e as decisões projetuais necessitam de estar pautadas em condições observadas na fase de degradação em que a fachada e amostras se enquadraram.

Os estudos de Silva (2022) confirmam que a região de topo das fachadas é a mais afetada pela degradação. Como a degradação é heterogênea pode ocorrer de zonas da mesma fachada se encontrarem em fases de degradação distintas. É claramente possível que em uma mesma fachada existam zonas mais críticas já em aceleração da degradação e outras zonas em propagação ou até mesmo iniciação.

Pautando-se nas características distintas observadas no processo evolutivo da degradação mencionadas, cada fase é delimitada e na Tabela 46 está detalhado o intervalo de cada fase de degradação pautando-se no FGD.

Tabela 46 - Caracterização das fases de degradação através do FGD limite e V_D médio

Fase	FGD limite	V_D médio
Iniciação	< 0,05	0,00093
Propagação	0,05 a 0,149	0,00287
Aceleração	> 0,149	0,00516

6.3 Aspectos em discussão

Com base nos comportamentos analisados para a base de dados utilizada e nos estudos sobre degradação desenvolvidos nos últimos anos, dividir a degradação em fases distintas permite uma investigação pormenorizada não abordada até então. Diante de uma classificação da evolução da degradação e do entendimento de suas características e comportamentos é possível por exemplo, subsidiar a elaboração de planos de degradação e até mesmo modelos de degradação com novas variáveis que sejam mais precisos e coerentes com o comportamento real das amostras com o passar dos anos.

Estudar o comportamento evolutivo da degradação em fachadas de revestimento cerâmico é fundamental para compreender os mecanismos que comprometem o desempenho, a durabilidade e a segurança das edificações ao longo do tempo. Essa investigação permite identificar padrões de manifestação de anomalias, fornecendo subsídios técnicos para a proposição de normas mais eficazes de desempenho e manutenção no que diz respeito a fachadas, como é o caso do estudo realizado. Nesse contexto, a incorporação de diretrizes específicas na NBR 15575:2021 é essencial para que as exigências de vida útil e manutenção dos sistemas de revestimento cerâmico sejam claramente definidas e verificáveis. No entanto, observa-se que a aplicação prática da norma ainda enfrenta desafios, especialmente no que se refere à ausência de rotinas sistemáticas de inspeção, o que pode ser balizado pela compreensão das características das fases de degradação e qual o procedimento e a tipologia mais indicados.

A determinação precoce do risco de degradação através da proposição de ferramentas e critérios precisos considerando as necessidades de intervenção coerentes com a fase de degradação é uma vantagem que contribui para redução dos gastos. Segundo a Lei de Sitter os custos de intervenção em uma edificação aumentam exponencialmente em cada fase do ciclo de vida do projeto, portanto, quanto antes realizadas mais economia. O desenvolvimento de materiais com melhor performance diante do surgimento e evolução das anomalias também é uma possibilidade prática atrelada ao estudo evolutivo da degradação em fases, uma vez que os fatores controladores são diferenciados e mudam de padrão conforme anomalia e sinergia existente. Exste ainda a possibilidade de criação de modelos de degradação específicos para cada fase de degradação, levando em consideração as particularidades e necessidades de cada fase.

Por fim, outra possibilidade de aplicação do estudo que divide a degradação em iniciação, propagação e aceleração são as possíveis implicações da diferenciação da degradação nas atividades de manutenção. Ao se observar comportamentos e graus diferentes de

degradação, podem ser demandadas interferências específicas a depender da situação de cunho corretivo ou paliativo. Ao compreender os diferentes e identificar os agentes e mecanismos envolvidos no processo evolutivo da degradação torna-se possível definir planos de manutenção preventiva e selecionar técnicas de reparo mais adequadas e duradouras. Esse conhecimento, permite ainda, otimizar recursos financeiros e garantir a conformidade com os requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575:2021, que associa a durabilidade dos sistemas construtivos à correta execução e manutenção.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

O estudo comportamental proposto para fachadas com revestimento cerâmico na cidade de Brasília-DF, permite identificar as diferenciações do processo de degradação em função dos aspectos construtivos, condições de exposição e orientação, bem como através dos indicadores de degradação e tendências dos grupos de anomalias. dos sistemas de revestimento de fachadas. A observação dessas variáveis identifica quais são as características específicas do processo evolutivo da degradação, fato que possibilita a divisão da degradação em fases de iniciação, propagação e aceleração.

A pesquisa diferencia e explica a degradação. Por ser um processo complexo e que envolve uma série de fatores e variáveis a avaliação foi minuciosa e considerando o maior número de variáveis e fatores disponíveis para a base de dados utilizada. As faixas 12 de FGD propostas inicialmente para estudar a degradação proporciona análise de forma individualizada os fragmentos da base de dados, o que apresenta informações relevantes antes não identificadas. Da investigação apresentada se pode enumerar as conclusões pertinentes ao estudo da degradação em amostras fachadas de revestimento cerâmico divididas em 12 faixas.

A investigação da degradação, que tem por base indicadores como o Fator Geral de Degradação (FGD), FD anomalia e velocidade de degradação, identifica que as amostras se comportam de maneira distinta em função da velocidade que possuem, e também, da sua orientação e grau de exposição. A maioria das amostras que atingem e ultrapassam o limite de vida útil possuem alta velocidade, orientação Norte e alto grau de exposição a agentes climáticos, sinalizando degradação mais intensa, severa e generalizada. A observação de comportamento permite constatar que o comportamento da degradação se diferencia em função de variáveis além do tempo. Quanto maior o nível de degradação do elemento, mais complexas são as intervenções necessárias. Além disso, níveis distintos de degradação exigem medidas específicas para que de fato eficientes e resolutivas.

O comportamento das amostras com degradação elevada apresenta menor dispersão e correspondem a uma fase da degradação em que não há predominância de um único mecanismo ou concentração de uma anomalia. Para as fases de propagação e aceleração é possível identificar menor amplitude de velocidade de degradação e tendência de linearidade entre os indicadores FGD e V_D , correlações não existentes nas faixas de baixa degradação antes de atingirem o limite último de vida útil. O índice de velocidade de degradação complementa

estudos e índices já existentes, sendo de valiosa aplicação por permitir estudos mais acurados e associar a degradação ao fator tempo que é decisivo no seu processo e evolução.

O nível de degradação, investigado partindo da segmentação da base de dados, mostra que os padrões de degradação se modificam ao longo do tempo e também são controlados de forma diferenciada. As primeiras faixas de degradação mais branda e inicial, não apresentam uma orientação ou grau de exposição definidos. Com a evolução da degradação e principalmente nas faixas correspondentes a degradação intensa, as amostras são de orientação Norte e alto grau de exposição a agentes climáticos. Nessas situações é provável que se tenha efeitos combinados entre agentes, e os mecanismos agravem as condições de degradação observadas nas idades iniciais.

O alto grau de exposição aos agentes climáticos associado à orientação Norte é decisivo e determinante em fases de propagação e aceleração da degradação, como observado nas faixas que ultrapassam o limite último de vida útil. Em uma abordagem de tendência geral dos dados em função das variáveis que existem não é possível essa separação nítida e direta. Já na investigação dos *outliers* fica evidente nas faixas iniciais que as amostras com idades mais elevadas encontradas em faixas de baixa degradação apresentam orientações em Sul, Leste e Oeste, indicando grau de exposição baixo e médio sugerindo menor incidência de agentes climáticos de degradação. Além da menor incidência dos agentes, tal observação pode ser explicada por proteção de determinada fachada que atua diminuindo a incidência dos agentes.

As anomalias observadas em cada faixa são produtos do processo evolutivo de degradação que envolve agentes e mecanismos. Não é possível atribuir uma única variável de influencia para as anomalias observadas. A predominância de descolamento na maioria das faixas de estudo, se justifica em função do tipo de sistema de vedação e principalmente, da utilização de revestimento cerâmico. Na iniciação da degradação há uma maior dispersão de valores nos quatro grupos de anomalias, existindo descolamento, fissuras, falha nas juntas e manchas. Para a fase de propagação da degradação o comportamento se altera indicando maior ocorrência de descolamento. Na fase mais grave, considerada como aceleração da degradação, já existe efeito sinérgico em que as fissuras e falha de juntas por exemplo, são de elevada criticidade uma vez que permitem o ingresso de água potencializando a ocorrência de descolamento em maiores áreas da fachada

O processo evolutivo da degradação é dividido e caracterizado em três fases. Compreender que a degradação acontece em fases distintas de iniciação, propagação e aceleração permitirá a elaboração de estudos e modelos de vida útil mais precisos e capazes de

representar melhor o que de fato acontece em situações reais, não se pautando apenas premissas de análise estatística.

As constatações de comportamento apresentadas são contribuições que devem ser investigadas e associadas tanto para o projeto de novos edifícios, como também no estudo da vida útil podendo ter aplicação direta na reabilitação e manutenção de edifícios. A diferenciação de comportamento em relação à degradação para fachadas em diferentes faixas evidencia a importância do que tem sido estudado e consolidado nos últimos anos, e destaca a importância de se ter mais análises pormenorizadas capazes de rastrear e identificar os fatores ou aspectos que controlam a degradação, como por exemplo, por meio de outros indicadores que traduzam e quantifiquem a degradação, como a velocidade de degradação. Além disso, identificar as anomalias mais recorrentes na tipologia de revestimento estudada possibilita medidas e soluções mais assertivas de projeto e seleção de materiais com finalidade de manter a funcionalidade de fachadas e edifícios.

Os comportamentos observados no estudo são específicos para a base de dados utilizada referente à cidade de Brasília - DF. Estudos complementares ou considerações semelhantes para outras bases de dados, condições climáticas, localidade e tipologia construtiva, devem se atentar e observar as características particulares e que são pertinentes a cada caso.

7.2 Propostas para pesquisas futuras

As sugestões para as pesquisas futuras são baseadas em lacunas observadas ao longo do desenvolvimento da tese e nos avanços que ainda são necessários para a continuidade das pesquisas desenvolvidas nesta linha de estudos que envolve a degradação dos sistemas de revestimento de fachadas.

- Aplicar e adequar os estudos de degradação para outros tipos de materiais e sistemas, como revestimento em argamassa com pintura, pisos, esquadrias, coberturas e sistemas de impermeabilização.
- Inserção de novas amostras na base de dados para refinar os estudos e observações.
- Realizar novas inspeções em edificações que já fazem parte da base de dados.
- Considerar os episódios de manutenção nos sistemas de revestimentos.
- Propor novas variáveis que exercem influência no processo de degradação.

- Aplicar o estudo da degradação em fases utilizando outra base de dados, para outra cidade, região ou país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDESSI, D.; GATTA, C.; MARFIA, S.; SACCO, E. Multiscale analysis of in-plane masonry walls accounting for degradation and frictional effects. *International Journal for Multiscale Computational Engineering*, v.18, n.2, 2020.

ANDRADE, D. T. Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higrotérmica para os edifícios de Brasília. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E. DM11A/22, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101 p.

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causa e recomendações. Tecnologia de edificações. Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI: Instituto de Pesquisa Tecnológica - Divisão de Edificações do IPT, 1988. p.565-570.

AMORIM, C. N.; FLORES, A. L. Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília: Aspectos de preservação e conforto ambiental. Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. Maceió, Brasil, 2005. 37–46 pp.

AMORIM, C. N.; FLORES, A. L. Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília: Aspectos de preservação e conforto ambiental. Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. Maceió, Brasil. 2005.

ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2015.

ASTM E 632-81. Standard Practice for Developing Accelerated Tests to a Prediction of the service Life of Building Components and Materials. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 6p, 1996.

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

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*, v. 61, p. 151–159, 2015.

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

BAUER, E.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, C. H. Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1(1), 2016. 1-7 pp.

BAUER, E.; PIAZZAROLLO, C.B.; SOUZA, J.S; SANTOS, D. G. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation, *J. Build. Pathol. Rehabil.*, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2020.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.21, n.4, p.23-43, 2021.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. Application of the Degradation Measurement Method in the Study of Facade Service Life. In book: *Building Pathology, Durability and Service Life*, 2020.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. Application of the Degradation Measurement Method in the Study of Facade Service Life. In book: *Building Pathology, Durability and Service Life*, 2020.

BEASLEY, K. J. Building façade failure risk assessment, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 28, n. 5. pp 1-14, 2014.

BISENECE, E.; FREIMANIS, R.; PURVINS, R.; GRAVELSINS, A.; PUMPURS, A.; BLUMBERGA, A. Study of hygrothermal processes in external walls with internal insulation. *Environmental and Climate Technologies*, v. 22, pp.22-41, 2018.

BORDALO, R.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. *Building Research and Information*. v. 39. n. 1. pp.66-78, 2011.

CARNICERO, J.A.; AUSÍN, M.C; WIPER, M.P. Non-parametric copulas for circular– linear and circular–circular data: an application to wind directions. *Stoch Environ Res Risk Assess*, v.27, pp. 1991–2002, 2013.

CARRETERO-AYUSO, M. J. C.E. RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, D. BIENVENIDO-HUERTAS, J.J. MOYANO, Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings, *Journal of Building Engineering*. 39 (2021).

CARRETERO-AYUSO, M. J. A. MORENO-CANSADO, J. GARCÍA-SANZ-CALCEDO, Influence of climate conditions on deficiencies of building roofs, *Applied Sciences (Switzerland)*. 9 (2019).

CAVALAGLI, N.; KITA, A.; CASTALDO, V. L.; PISELLO, A. L.; UBERTINI, F. Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings: An integrated approach considering climate change and structural damage. *Construction and Building Materials*, 215, pp.998-1014, 2019.

CÓIAS, V. *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. 2 ed. IST Press: Lisboa. 2009.

DUARTE, R.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; HAWREEN, A. Variability of in-situ testing in wall coating systems - Karsten tube and moisture meter techniques. *Journal of Building Engineering*, v. 27, 2020.

ESTEVEES, T.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, C. Inspection and Numerical Modeling of Cracking in Existing Nonbearing Walls, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 32 (4), 2018.

FEILDEN, B. Conservation of historic building. 3. ed. Oxford: ButterworthHeineman, 181p, 2003.

FERREIRA, C. A. SILVA, J. DE BRITO, I.S. DIAS, I. FLORES-COLEN, The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components, *Journal of Building Engineering*. 33, 2021.

FIORITO, Antonio J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. 2. ed. - São Paulo : Pini, 2009. ISBN 978-85-7266-189-8.

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

FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V. P. Methodology for in-service performance assessment of rendering facades for predictive maintenance. TG75, W014, W080, W083 and W086, pp. 388, 2009.

FLORES-COLEN, I.; SILVA, L.; DE BRITO, J.; FREITAS, V. P. Drying index for inservice physical performance assessment of renders. *Construction and Building Materials*, v. 112, p. 1101-1109, 2016.

FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V.; HAWREEN, A. Reliability of in-situ diagnosis in external wall renders, *Construction and Building Materials*, v. 252, p. 119079, 2020.

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

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

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

GALBUSERA, M. M.; DE BRITO, J.; SILVA, A. Application of the factor method to the prediction of the service life of ceramic external wall cladding. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(3), 2014.

GALVÃO, J.; DUARTE, R.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; HAWREEN, A. Non destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure. *Construction and Building Materials*, v. 230, 2020.

GASPAR, P.; DE BRITO, J. Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, v. 43, n. 11, 2008. 1818-28 pp.

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: PINI, 1986.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-1: Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 1: General principles and framework. London, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-2 (2012): Buildings - Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures, International Organization for Standardization.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/DIS 15686-8: Buildings - Service life planning. Part 8: Reference service life and service-life estimation. ISO, 2008.

JERNBERG, P.; LACASSE, M. A.; HAAGENRUD, S.E.; SJÖSTRÖM, C. Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components. Joint CIB W80 / RILEM TC 140 – TSL Committee on Service Life of Building Materials and Components, CIB Report, Publication 295, 2004.

KAZMIERCZAK, C. S.; KULAKOWSKI, M. P.; BREHM, F. A.; SENTENA, J. A. A.; MARQUETTO, L. (2016) Considerações sobre a Avaliação da Durabilidade de Revestimentos de Argamassa com Incorporação de Resíduos por Meio de Ensaios Acelerados com Ciclos Térmicos. Ed. Scienza. Porto Alegre. Cap. 6. pp. 147 - 175.

MADUREIRA, S.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; PEREIRA, C. (2017) Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and Building Materials*. v. 147. pp. 790-802.

MADUREIRA, S.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; PEREIRA, C. Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and Building Materials*, v. 147, p.790–802, 2017.

MAGOS, M.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. Application of the factor method to the prediction of the service life of external paint finishes on facades, *Materials and Structures*, v. 49 (12), pp. 5209–5225, 2016.

MILHOMEM, P. M. Critérios para identificação e avaliação do grau de dano de fissuras em fachadas de edifícios com aplicação da termografia de infravermelho. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2019.

MOTA, L. M. Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2021.

MOTA, L.; LOPES, A.; BAUER, E. Metodologia de quantificação da degradação de fachadas. In: V CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios. Anais... Rio de Janeiro, 2020.

MOURA, A. C. RIBEIRO, S.; CORREA, I.; BRAGA, B. Parametric modelling of urban landscape: Decoding the Brasília of Lúcio costa from modernism to present days. *Journal of Land Use, Mobility and Environment*. v. 1. n. 1. pp. 695-708, 2014.

NADOUSHANI, Z. S. M.; AKBARNEZHAD, A.; JORNET, J. F.; XIAO, J. Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria. *Building and Environment*, v.121, 2017. 67-78 pp.

NASCIMENTO, M. L. M. Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.

NOGAL, M., & O'CONNOR, A. Resilience assessment of transportation networks. *Routledge Handbook of Sustainable and Resilient Infrastructure*, 199, 2018.

OLIVEIRA, L. A. Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

PAKKALA, T. A., KOLI, A., LAHDENSIVU, J., & PENTTI, M. Predicted corrosion rate on outdoor exposed concrete structures. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2019.

PAVÓN DE LA FE, E. Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PEREIRA, C.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. *Engineering Failure Analysis*, v. 90, p.103-115, 2018.

PEREIRA, C.; SILVA, A.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders. *Construction and Building Materials*, v. 249, 2020.

PIAZZAROLLO, C. B. Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2019.

PINHEIRO, P. I. S. Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao Estudo das Fachadas de Edifícios em Brasília. Projeto Final. Universidade de Brasília, 2016.

PRIETO, A. J. SILVA, A. Service life prediction and environmental exposure conditions of timber claddings in South Chile, *Building Research and Information*. 48 - 191–206, 2020.

QUINTELA, M. B. O. A. Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2006.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: revisão do estado da arte. Revista ALCONPAT, v. 7, n. 3, p. 200-214, set. 2017.

SANTOS, D. G. Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SANTOS, M. J. B. O. Catalogação de patologias em fachadas de edifícios residenciais em Brasília. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília, Brasília. 2017.

SILVA JÚNIOR, E. L. Análise do uso de drones na avaliação da condição estrutural de obras de arte especiais. 2019. 96 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife, 2019.

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

SOUZA, J. S. Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2016.

SOUZA, J. S. Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios, Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB - Universidade de Brasília, 2019.

SOUZA, J., SILVA, A., DE BRITO, J., E BAUER, E. Analysis of the influencing factors of external wall ceramic claddings' service life using regression techniques. Engineering Failure Analysis, v.83, pp. 141-155. 2018.

STEWART, M., & BASTIDAS-ARTEAGA, E. Corrosion of concrete and steel structures in a changing climate. In Climate adaptation engineering (pp. 99–125). Elsevier, 2019.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. Revista PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 10, p. 01-18, fev. 2019.

TUUTTI, K. Corrosion of steel in concrete. Sweden: CBI, 1982. 468 p.

VILAR, B. P. Estudo de caso – Aplicação de VANTs na engenharia civil. In: 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO, 2019, Brasília. Anais [...]. Brasília, 2019. p. 01-17.

VIITANEN, H. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Thesis (Doctoral). The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Uppsala, 1996.

WUFI Pro 5.3. IBP - Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2013.

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

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J.M. M.; BAUER, E.; AMORIM, C.N.D. Matriz de análise do índice de chuva dirigida (ICD) para a cidade de Brasília-DF. REVISTA PARANOÁ (cadernos de arquitetura e urbanismo) - Conforto e Projeto: Cidades 11: 67-76. Brasília, 2014.

APÊNDICE I

Análise de Faixas - FAIXA 2		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	5
	<i>Máxima</i>	35
	<i>Média</i>	18
<i>Orientação Predominante</i>		Norte, Sul e Leste
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00030
	<i>Máxima</i>	0,00282
	<i>Média</i>	0,00125
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,011
	<i>Máximo</i>	0,019
	<i>Médio</i>	0,015
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 1
<i>Grau de Exposição</i>		Médio
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Manchas
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Falhas nas Juntas
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Descolamento
<i>FD anom 1</i>		1,269
<i>FD anom 2</i>		0,655
<i>FD anom 3</i>		0,561
<i>FD anom 4</i>		0,022

Análise de Faixas - FAIXA 3		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	6
	<i>Máxima</i>	41
	<i>Média</i>	17
<i>Orientação Predominante</i>		Sul
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00061
	<i>Máxima</i>	0,00397
	<i>Média</i>	0,00179
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,020
	<i>Máximo</i>	0,029
	<i>Médio</i>	0,027
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 1
<i>Grau de Exposição</i>		Baixo
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Manchas
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Falhas na Juntas
<i>FD anom 1</i>		6,213
<i>FD anom 2</i>		1,075
<i>FD anom 3</i>		0,768
<i>FD anom 4</i>		0,537

Análise de Faixas - FAIXA 4		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	9
	<i>Máxima</i>	41
	<i>Média</i>	18
<i>Orientação Predominante</i>		Sul
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00077
	<i>Máxima</i>	0,00407
	<i>Média</i>	0,00217
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,030
	<i>Máximo</i>	0,038
	<i>Médio</i>	0,033
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 1
<i>Grau de Exposição</i>		Baixo
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		3,706
<i>FD anom 2</i>		0,597
<i>FD anom 3</i>		0,384
<i>FD anom 4</i>		0,179

Análise de Faixas - FAIXA 5		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	8
	<i>Máxima</i>	41
	<i>Média</i>	26
<i>Orientação Predominante</i>		Sul
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00100
	<i>Máxima</i>	0,00502
	<i>Média</i>	0,00223
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,040
	<i>Máximo</i>	0,049
	<i>Médio</i>	0,044
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 1
<i>Grau de Exposição</i>		Baixo
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Manchas
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Falhas na Juntas
<i>FD anom 1</i>		2,588
<i>FD anom 2</i>		1,384
<i>FD anom 3</i>		0,299
<i>FD anom 4</i>		0,235

Análise de Faixas - FAIXA 6		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	9
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	35
<i>Orientação Predominante</i>		Leste
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00113
	<i>Máxima</i>	0,00601
	<i>Média</i>	0,00186
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,050
	<i>Máximo</i>	0,071
	<i>Médio</i>	0,059
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 2
<i>Grau de Exposição</i>		Médio
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		4,026
<i>FD anom 2</i>		2,572
<i>FD anom 3</i>		1,404
<i>FD anom 4</i>		0,090

Análise de Faixas - FAIXA 7		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	18
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	35
<i>Orientação Predominante</i>		Oeste
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00216
	<i>Máxima</i>	0,00553
	<i>Média</i>	0,00270
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,078
	<i>Máximo</i>	0,099
	<i>Médio</i>	0,091
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 2
<i>Grau de Exposição</i>		Médio
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		2,133
<i>FD anom 2</i>		2,109
<i>FD anom 3</i>		1,707
<i>FD anom 4</i>		0,724

Análise de Faixas - FAIXA 8		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	32
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	35
<i>Orientação Predominante</i>		Sul
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00244
	<i>Máxima</i>	0,00386
	<i>Média</i>	0,00323
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,102
	<i>Máximo</i>	0,124
	<i>Médio</i>	0,112
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 2
<i>Grau de Exposição</i>		Baixo
<i>Grupo de anomalias 1º</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2º</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 3º</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 4º</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		6,806
<i>FD anom 2</i>		1,012
<i>FD anom 3</i>		0,903
<i>FD anom 4</i>		0,000

Análise de Faixas - FAIXA 9		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	24
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	38
<i>Orientação Predominante</i>		Norte
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00292
	<i>Máxima</i>	0,00525
	<i>Média</i>	0,00369
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,125
	<i>Máximo</i>	0,149
	<i>Médio</i>	0,138
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 2
<i>Grau de Exposição</i>		Alto
<i>Grupo de anomalias 1º</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2º</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3º</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 4º</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		8,453
<i>FD anom 2</i>		1,936
<i>FD anom 3</i>		1,302
<i>FD anom 4</i>		0,029

Análise de Faixas - FAIXA 10		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	32
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	35
<i>Orientação Predominante</i>		Sul
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00356
	<i>Máxima</i>	0,00537
	<i>Média</i>	0,00460
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,150
	<i>Máximo</i>	0,172
	<i>Médio</i>	0,161
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 3
<i>Grau de Exposição</i>		Baixo
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		5,833
<i>FD anom 2</i>		1,316
<i>FD anom 3</i>		0,704
<i>FD anom 4</i>		0,000

Análise de Faixas - FAIXA 11		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	35
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	38
<i>Orientação Predominante</i>		Norte
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00415
	<i>Máxima</i>	0,00549
	<i>Média</i>	0,00486
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,176
	<i>Máximo</i>	0,198
	<i>Médio</i>	0,185
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 3
<i>Grau de Exposição</i>		Alto
<i>Grupo de anomalias 1°</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2°</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3°</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 4°</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		5,208
<i>FD anom 2</i>		2,600
<i>FD anom 3</i>		0,805
<i>FD anom 4</i>		0,115

Análise de Faixas - FAIXA 12		
<i>Idade</i>	<i>Mínima</i>	32
	<i>Máxima</i>	43
	<i>Média</i>	38
<i>Orientação Predominante</i>		Norte
<i>Velocidade</i>	<i>Mínima</i>	0,00475
	<i>Máxima</i>	0,00781
	<i>Média</i>	0,00614
<i>FGD</i>	<i>Mínimo</i>	0,204
	<i>Máximo</i>	0,281
	<i>Médio</i>	0,227
<i>Comportamento da Velocidade</i>		Padrão 3
<i>Grau de Exposição</i>		Alto
<i>Grupo de anomalias 1º</i>		Descolamento
<i>Grupo de anomalias 2º</i>		Fissuras
<i>Grupo de anomalias 3º</i>		Falhas na Juntas
<i>Grupo de anomalias 4º</i>		Manchas
<i>FD anom 1</i>		7,572
<i>FD anom 2</i>		0,697
<i>FD anom 3</i>		0,268
<i>FD anom 4</i>		0,000

Faixa 1						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	FGD/ano
A4.3	5	6	Leste	77.10	0.000	0.00009
A4.4	5	6	Leste	77.10	0.002	0.00035
A4.5	5	6	Leste	77.10	0.001	0.00027
A4.6	5	6	Leste	77.10	0.000	0.00009
A13.1	5	19	Leste	48.90	0.006	0.00111
A1.3	6	12	Leste	63.50	0.006	0.00097
A3.7	6	3	Leste	48.90	0.003	0.00044
A3.8	6	3	Leste	48.90	0.000	0.00003
A3.9	6	3	Leste	48.90	0.001	0.00018
A3.10	6	3	Leste	48.90	0.001	0.00019
A7.3	10	6	Leste	77.10	0.006	0.00062
A7.4	10	6	Leste	77.10	0.003	0.00027
A17.9	17	6	Leste	48.90	0.002	0.00010
A18.9	17	6	Leste	48.90	0.002	0.00012
A19.8	17	6	Leste	48.90	0.005	0.00031
A20.8	17	6	Leste	48.90	0.002	0.00012
A21.7	17	6	Leste	48.90	0.000	0.00002
A22.7	17	6	Leste	48.90	0.006	0.00036
A14.14	18	4	Leste	63.50	0.001	0.00005
A14.15	18	4	Leste	63.50	0.001	0.00005
A14.16	18	4	Leste	63.50	0.009	0.00051
A14.18	18	4	Leste	63.50	0.001	0.00006
A14.19	18	4	Leste	63.50	0.001	0.00008
A36.3	24	6	Leste	63.50	0.009	0.00039
A36.4	24	6	Leste	63.50	0.004	0.00017
A36.6	24	6	Leste	63.50	0.009	0.00039
A36.9	24	6	Leste	63.50	0.008	0.00032
A4.2	5	6	Norte	77.10	0.001	0.00018
A1.10	6	12	Norte	63.50	0.003	0.00043
A3.11	6	3	Norte	48.90	0.004	0.00074
A5.3	8	6	Norte	27.20	0.002	0.00026
A5.4	8	6	Norte	77.10	0.004	0.00044
A5.5	8	6	Norte	27.20	0.004	0.00044
A5.6	8	6	Norte	77.10	0.003	0.00037
A15.4	13	12	Norte	48.90	0.003	0.00022
A16.7	17	6	Norte	48.90	0.001	0.00004
A17.7	17	6	Norte	48.90	0.003	0.00016
A19.9	17	6	Norte	48.90	0.002	0.00010
A21.8	17	6	Norte	48.90	0.003	0.00018
A22.8	17	6	Norte	48.90	0.004	0.00025
A14.20	18	4	Norte	27.20	0.007	0.00037
A4.7	5	6	Oeste	77.10	0.001	0.00018
A4.8	5	6	Oeste	77.10	0.000	0.00009
A4.9	5	6	Oeste	77.10	0.001	0.00013

Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	FGD/ano
A4.10	5	6	Oeste	77.10	0.001	0.00027
A13.2	5	19	Oeste	48.90	0.007	0.00136
A1.8	6	12	Oeste	63.50	0.005	0.00082
A1.11	6	12	Oeste	63.50	0.001	0.00020
A3.1	6	3	Oeste	48.90	0.002	0.00040
A3.2	6	3	Oeste	48.90	0.001	0.00022
A3.3	6	3	Oeste	48.90	0.004	0.00059
A3.4	6	3	Oeste	48.90	0.001	0.00011
A3.5	6	3	Oeste	48.90	0.001	0.00017
A5.8	8	6	Oeste	77.10	0.001	0.00012
A7.6	10	6	Oeste	77.10	0.004	0.00039
A7.7	10	6	Oeste	77.10	0.007	0.00074
A7.8	10	6	Oeste	77.10	0.001	0.00014
A16.8	17	6	Oeste	48.90	0.001	0.00005
A18.7	17	6	Oeste	48.90	0.002	0.00010
A19.7	17	6	Oeste	48.90	0.001	0.00004
A20.9	17	6	Oeste	48.90	0.001	0.00003
A21.9	17	6	Oeste	48.90	0.001	0.00004
A14.1	18	4	Oeste	63.50	0.005	0.00029
A14.4	18	4	Oeste	27.20	0.000	0.00002
A14.5	18	4	Oeste	63.50	0.002	0.00010
A14.6	18	4	Oeste	27.20	0.000	0.00001
A14.8	18	4	Oeste	27.20	0.003	0.00017
A14.9	18	4	Oeste	63.50	0.001	0.00004
A4.1	5	6	Sul	77.10	0.000	0.00006
A3.12	6	3	Sul	48.90	0.005	0.00091
A5.9	8	6	Sul	27.20	0.003	0.00032
A7.2	10	6	Sul	77.10	0.001	0.00011
A10.10	10	6	Sul	48.90	0.007	0.00071
A10.11	10	6	Sul	48.90	0.006	0.00064
A15.2	13	12	Sul	48.90	0.001	0.00004
A16.9	17	6	Sul	48.90	0.001	0.00007
A17.8	17	6	Sul	48.90	0.001	0.00004
A18.8	17	6	Sul	48.90	0.001	0.00008
A20.7	17	6	Sul	48.90	0.002	0.00014
A14.21	18	4	Sul	27.20	0.002	0.00012
A12.4	19	11	Sul	48.90	0.008	0.00041

Faixa 2						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A13.3	5	19	Norte	48.90	0.014	0.00275
A13.4	5	19	Sul	48.90	0.014	0.00282
A1.2	6	12	Sul	63.50	0.012	0.00197
A1.4	6	12	Oeste	63.50	0.015	0.00256
A1.5	6	12	Norte	77.10	0.016	0.00263
A1.6	6	12	Norte	63.50	0.012	0.00197
A5.7	8	6	Oeste	77.10	0.016	0.00201
A5.10	8	6	Sul	77.10	0.012	0.00150
A10.3	10	6	Norte	48.90	0.011	0.00113
A15.5	13	12	Norte	48.90	0.017	0.00134
A12.1	19	11	Norte	48.90	0.013	0.00068
A12.2	19	11	Norte	48.90	0.011	0.00060
A12.3	19	11	Sul	48.90	0.019	0.00098
A12.11	19	11	Leste	48.90	0.016	0.00084
A12.12	19	11	Leste	48.90	0.017	0.00092
A12.14	19	11	Leste	48.90	0.019	0.00099
A36.2	24	6	Leste	63.50	0.015	0.00065
A36.5	24	6	Leste	63.50	0.014	0.00057
A36.7	24	6	Leste	63.50	0.019	0.00079
A36.10	24	6	Sul	63.50	0.014	0.00057
A33.7	35	6	Sul	63.50	0.015	0.00044
A34.9	35	6	Leste	63.50	0.011	0.00030
A35.3	35	6	Oeste	27.20	0.017	0.00049
A35.4	35	6	Oeste	63.50	0.016	0.00046
A34.11	35	6	Sul	63.50	0.018	0.00051

Faixa 3						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A37.4	41	6	Leste	27.20	0.025	0.00061
A34.10	35	6	Leste	63.50	0.023	0.00065
A35.1	35	6	Oeste	27.20	0.026	0.00074
A33.5	35	6	Sul	63.50	0.027	0.00078
A34.4	35	6	Oeste	63.50	0.028	0.00079
A36.8	24	6	Leste	63.50	0.024	0.00099
A38.1	27	6	Oeste	27.20	0.029	0.00107
A36.1	24	6	Leste	63.50	0.026	0.00109
A14.17	18	4	Leste	63.50	0.021	0.00116
A19.3	17	6	Sul	48.90	0.027	0.00158
A17.5	17	6	Sul	48.90	0.027	0.00161
A17.1	17	6	Leste	48.90	0.027	0.00161
A19.4	17	6	Norte	48.90	0.027	0.00161
A17.2	17	6	Oeste	48.90	0.027	0.00161
A21.2	17	6	Norte	48.90	0.027	0.00161
A16.4	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00162
A21.1	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00163
A16.3	17	6	Norte	48.90	0.028	0.00163
A17.6	17	6	Norte	48.90	0.028	0.00163
A18.5	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00163
A18.3	17	6	Oeste	48.90	0.028	0.00164
A18.2	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00165
A19.2	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00165
A21.6	17	6	Sul	48.90	0.028	0.00166
A16.1	17	6	Leste	48.90	0.028	0.00167
A19.1	17	6	Norte	48.90	0.028	0.00167
A16.6	17	6	Leste	48.90	0.029	0.00168
A16.5	17	6	Oeste	48.90	0.029	0.00168
A22.6	17	6	Leste	48.90	0.029	0.00168
A21.3	17	6	Leste	48.90	0.029	0.00169
A22.1	17	6	Sul	48.90	0.029	0.00169
A18.1	17	6	Norte	48.90	0.029	0.00170
A18.4	17	6	Leste	48.90	0.029	0.00170
A20.5	17	6	Norte	48.90	0.029	0.00170
A16.2	17	6	Oeste	48.90	0.029	0.00170
A20.6	17	6	Sul	48.90	0.029	0.00171
A21.5	17	6	Norte	48.90	0.029	0.00172
A20.1	17	6	Oeste	48.90	0.029	0.00173
A17.3	17	6	Leste	48.90	0.029	0.00173
A10.5	10	6	Norte	48.90	0.020	0.00200
A10.1	10	6	Norte	48.90	0.021	0.00210
A10.6	10	6	Norte	48.90	0.022	0.00217

Faixa 4						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A37.3	41	6	Leste	27.20	0.031	0.00077
A33.9	35	6	Sul	63.50	0.037	0.00106
A6.11	32	6	Sul	27.20	0.035	0.00110
A12.5	19	11	Oeste	48.90	0.031	0.00163
A11.1	17	6	Sul	48.90	0.030	0.00174
A22.4	17	6	Oeste	48.90	0.030	0.00174
A19.5	17	6	Leste	48.90	0.030	0.00174
A17.4	17	6	Oeste	48.90	0.030	0.00174
A14.11	18	4	Sul	27.20	0.032	0.00177
A20.2	17	6	Leste	48.90	0.030	0.00178
A22.5	17	6	Oeste	48.90	0.030	0.00179
A18.6	17	6	Norte	48.90	0.031	0.00180
A20.3	17	6	Sul	48.90	0.031	0.00180
A20.4	17	6	Norte	48.90	0.031	0.00181
A19.6	17	6	Oeste	48.90	0.032	0.00186
A21.4	17	6	Oeste	48.90	0.032	0.00188
A22.3	17	6	Leste	48.90	0.033	0.00193
A22.2	17	6	Norte	48.90	0.036	0.00214
A11.3	17	6	Sul	48.90	0.037	0.00216

Faixa 5						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	FGD/ano
A37.2	41	6	Leste	27.20	0.041	0.00100
A42.5	38	6	Sul	27.20	0.044	0.00117
A33.3	35	6	Sul	63.50	0.044	0.00125
A9.27	36	6	Sul	48.90	0.045	0.00125
A32.1	38	6	Norte	27.20	0.049	0.00129
A35.10	35	6	Leste	63.50	0.047	0.00134
A6.2	32	6	Sul	27.20	0.044	0.00138
A43.2	27	6	Oeste	27.20	0.040	0.00147
A43.3	27	6	Oeste	27.20	0.040	0.00149
A43.4	27	6	Norte	27.20	0.044	0.00162
A44.1	27	6	Leste	27.20	0.049	0.00180
A43.1	27	6	Oeste	27.20	0.049	0.00182
A12.6	19	11	Oeste	48.90	0.041	0.00218

Faixa 6						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A40.4	38	6	Oeste	27.20	0.051	0.00133
A9.26	36	6	Sul	48.90	0.050	0.00139
A35.6	35	6	Oeste	63.50	0.051	0.00144
A37.1	41	6	Leste	27.20	0.062	0.00150
A30.3	38	6	Oeste	27.20	0.058	0.00153
A32.3	38	6	Sul	27.20	0.059	0.00154
A41.1	38	6	Norte	27.20	0.059	0.00154
A35.2	35	6	Oeste	63.50	0.054	0.00155
A9.25	36	6	Sul	48.90	0.056	0.00157
A46.1	43	6	Sul	27.20	0.069	0.00160
A9.8	36	6	Norte	48.90	0.058	0.00160
A30.1	38	6	Leste	27.20	0.061	0.00161
A9.3	36	6	Norte	48.90	0.059	0.00163
A29.2	38	6	Leste	27.20	0.062	0.00164
A35.11	35	6	Leste	63.50	0.060	0.00172
A9.6	36	6	Norte	48.90	0.064	0.00179
A33.6	35	6	Sul	27.20	0.063	0.00179
A6.23	32	6	Leste	27.20	0.062	0.00193
A38.2	27	6	Leste	27.20	0.052	0.00194
A6.16	32	6	Norte	27.20	0.063	0.00198
A6.13	32	6	Norte	27.20	0.071	0.00221
A2.1	9	6	Leste	27.20	0.054	0.00601

Faixa 7						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A40.3	38	6	Norte	27.20	0.082	0.00216
A34.3	35	6	Oeste	27.20	0.078	0.00222
A28.3	43	6	Leste	27.20	0.098	0.00229
A28.3	43	6	Leste	27.20	0.098	0.00229
A33.8	35	6	Sul	27.20	0.084	0.00240
A41.2	38	6	Oeste	27.20	0.092	0.00243
A34.6	35	6	Oeste	63.50	0.087	0.00249
A34.7	35	6	Oeste	27.20	0.090	0.00257
A34.5	35	6	Oeste	27.20	0.092	0.00264
A9.13	36	6	Norte	48.90	0.097	0.00270
A14.13	18	4	Leste	63.50	0.099	0.00553

Faixa 8						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A31.1	43	6	Sul	27.20	0.105	0.00244
A28.17	43	6	Oeste	27.20	0.121	0.00281
A9.21	36	6	Sul	48.90	0.102	0.00284
A41.3	38	6	Leste	27.20	0.108	0.00285
A9.5	36	6	Norte	48.90	0.103	0.00287
A9.24	36	6	Sul	48.90	0.112	0.00311
A9.2	36	6	Norte	48.90	0.116	0.00321
A9.10	36	6	Norte	48.90	0.116	0.00323
A6.10	32	6	Sul	27.20	0.104	0.00325
A6.1	32	6	Sul	27.20	0.106	0.00332
A9.11	36	6	Norte	48.90	0.120	0.00334
A6.19	32	6	Norte	27.20	0.108	0.00338
A9.12	36	6	Norte	48.90	0.122	0.00340
A6.5	32	6	Sul	27.20	0.109	0.00341
A6.14	32	6	Norte	27.20	0.109	0.00342
A6.15	32	6	Norte	27.20	0.111	0.00346
A33.2	35	6	Sul	27.20	0.121	0.00347
A6.3	32	6	Sul	27.20	0.116	0.00363
A6.6	32	6	Sul	27.20	0.124	0.00386

Faixa 9						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A36.11	24	6	Norte	63.50	0.126	0.00525
A28.10	43	6	Oeste	27.20	0.126	0.00292
A28.16	43	6	Sul	27.20	0.137	0.00318
A28.4	43	6	Sul	27.20	0.138	0.00322
A28.2	43	6	Leste	27.20	0.140	0.00326
A28.8	43	6	Norte	27.20	0.141	0.00327
A28.20	43	6	Norte	27.20	0.145	0.00337
A28.12	43	6	Oeste	27.20	0.146	0.00339
A32.2	38	6	Norte	27.20	0.129	0.00340
A28.11	43	6	Sul	27.20	0.149	0.00346
A9.29	36	6	Leste	48.90	0.125	0.00348
A42.2	38	6	Norte	27.20	0.135	0.00355
A9.22	36	6	Sul	48.90	0.130	0.00362
A39.3	38	6	Sul	27.20	0.141	0.00372
A9.23	36	6	Sul	48.90	0.137	0.00379
A35.5	35	6	Oeste	27.20	0.133	0.00381
A42.1	38	6	Norte	27.20	0.146	0.00385
A9.18	36	6	Norte	48.90	0.139	0.00387
A9.7	36	6	Norte	48.90	0.149	0.00415
A6.9	32	6	Sul	27.20	0.142	0.00443
A6.17	32	6	Norte	27.20	0.143	0.00448

Faixa 10						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A28.6	43	6	Sul	27.20	0.153	0.00356
A28.19	43	6	Oeste	27.20	0.162	0.00376
A42.6	38	6	Leste	27.20	0.154	0.00404
A9.9	36	6	Norte	48.90	0.151	0.00421
A35.7	35	6	Oeste	27.20	0.150	0.00428
A33.11	35	6	Norte	63.50	0.158	0.00453
A33.4	35	6	Sul	27.20	0.159	0.00454
A6.7	32	6	Sul	27.20	0.163	0.00510
A6.18	32	6	Norte	27.20	0.168	0.00524
A6.4	32	6	Sul	27.20	0.169	0.00528
A6.12	32	6	Sul	27.20	0.171	0.00536
A6.8	32	6	Sul	27.20	0.172	0.00537

Faixa 11						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A28.14	43	6	Oeste	27.20	0.179	0.00415
A28.13	43	6	Norte	27.20	0.180	0.00418
A28.15	43	6	Oeste	27.200	0.187	0.00435
A39.2	38	6	Oeste	27.20	0.178	0.00469
A40.1	38	6	Oeste	27.20	0.186	0.00491
A9.17	36	6	Norte	48.90	0.180	0.00501
A9.14	36	6	Norte	48.90	0.181	0.00502
A34.11	35	6	Norte	63.50	0.176	0.00503
A40.2	38	6	Sul	27.20	0.197	0.00518
A33.10	35	6	Norte	63.50	0.192	0.00547
A9.1	36	6	Norte	48.90	0.198	0.00549

Faixa 12						
Amostra	Idade	n° Pavim.	Orientação	Absortância	FGD	Velocidade
A28.7	43	6	Oeste	27.20	0.204	0.00475
A28.9	43	6	Oeste	27.20	0.206	0.00478
A28.18	43	6	Norte	27.20	0.208	0.00485
A9.20	36	6	Norte	48.90	0.214	0.00595
A39.1	38	6	Sul	27.20	0.234	0.00615
A9.15	36	6	Norte	48.90	0.231	0.00641
A6.21	32	6	Norte	27.20	0.210	0.00658
A9.16	36	6	Norte	48.90	0.243	0.00674
A6.22	32	6	Oeste	27.20	0.238	0.00742
A9.19	36	6	Norte	48.90	0.281	0.00781