

AVALIAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Ana Luiza Rocha de Souza¹;
Thália Raelly de I. M. Romeiro²; Melissa Lorrane Frazão Lopes³;
Matheus de Souza⁴; Elton Bauer⁵

- ¹ Universidade De Brasília, Brasília-DF, Brasil, luiza31souza@gmail.Com
² Universidade De Brasília, Brasília-DF, Brasil, raellythalia20@gmail.Com
³ Universidade De Brasília, Brasília-DF, Brasil, melissafrazao8@gmail.Com
⁴ Universidade De Brasília, Brasília-DF, Brasil, matheus.engcv@outlook.Com
⁵ Universidade De Brasília, Brasília-DF, Brasil, elbauerlem@gmail.Com

RESUMO

A fachada de um edifício por ser considerada a envoltória mais externa, com o passar do tempo sofre com as consequências da degradação de seu revestimento. A degradação ocorre em duas fases distintas: iniciação e propagação. A propagação tende a provocar maiores consequências e danos em relação ao surgimento de anomalias e à sua recuperação. Na fase mais intensa da degradação ainda é comum uma anomalia se transformar em outra. O presente estudo tem por objetivo analisar como se manifesta a propagação da degradação, bem como suas consequências em fachadas. A pesquisa parte de uma base de dados formada por edifícios localizados na cidade de Brasília e é pautada em análises quantitativas e qualitativas para observar como se comporta a degradação dos seus revestimentos de fachada. Com o passar do tempo e conseqüentemente propagação da degradação, observa-se que as anomalias se tornam mais graves, aparecendo de forma sobreposta ou ainda em níveis mais elevados, uma anomalia pode se transformar em outra a depender dos agentes e mecanismos envolvidos. Conhecer com maior nível de detalhamento os processos envolvidos na degradação é capaz de evitar problemas e possibilitar correções antecipadas, melhorando o desempenho ao longo da vida útil.

Palavras-chave: Fachadas, Degradação, Propagação, Iniciação.

ABSTRACT

The facade of a building, being considered the outermost envelope, over time suffers from the consequences of the degradation of its coating. Degradation occurs in two distinct phases: initiation and propagation. Propagation tends to cause greater consequences and damage in relation to the emergence of anomalies and their recovery. In the most intense phase of degradation, it is still common for one

anomaly to transform into another. The present study aims to analyze how the propagation of degradation manifests itself, as well as its consequences in facades. The research starts from a database formed by buildings located in the city of Brasília and is based on quantitative and qualitative analyzes to observe how the degradation of their facade coverings behaves. Over time and consequently propagation of degradation, it is observed that the anomalies become more serious, appearing overlapping or even at higher levels, an anomaly can transform into another depending on the agents and mechanisms involved. Knowing in greater detail the processes involved in degradation is able to avoid problems and enable early corrections, improving performance throughout its useful life.

Keywords: *Facades, Degradation, Propagation, Initiation.*

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de fachadas exercem funções relevantes para o desempenho dos edifícios. Uma de suas principais funções que pode ser destacada é o fato de impedir a passagem de água. Além da importância de ser impermeável para o desempenho das fachadas e seus elementos, outra função importante é proteger os ambientes internos do clima exterior. Além de atuar na proteção do edifício contra as intempéries, as fachadas duráveis são uma exigência necessária na construção de edifícios, visando garantir segurança, conforto dos seus usuários e estética (OLIVEIRA, 2009; AMORIM *et al.*, 2014; SOUZA, 2019; BISENIECE *et al.*, 2018; PEREIRA; DE BRITO; SILVESTRE, 2018; FLORES-COLEN; SILVA, 2018).

Os revestimentos utilizados em fachadas constituem a barreira mais externa para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos, dessa forma é o sistema mais exposto à ação dos agentes de degradação, portanto mais sujeitos a ocorrência de anomalias. Os agentes de degradação alteram de diversas formas e intensidades as propriedades dos materiais e dos elementos. A radiação solar, a temperatura, a chuva dirigida e o vento podem ser considerados como os principais agentes responsáveis pela degradação (JERNBERG *et al.*, 2004; CAVALAGLI *et al.*, 2019; DUARTE, 2020; GALVÃO 2020).

A evolução do processo de degradação pode ser interpretada como a redução contínua em aspectos de funcionalidade ao longo do tempo, o que pode afetar o desempenho. A evolução da degradação pode ser apresentada sob a forma de curvas de degradação, que permitem a associação a mecanismos específicos (SHOHET *et al.*, 1999; BRANCO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016). Investigações voltadas à degradação em fachadas são necessárias e devem ser periódicas e constantemente atualizadas, uma vez que surgem novas abordagens, novas necessidades e novos desafios em relação aos mecanismos de degradação (BAUER *et al.*, 2020). É

necessário partir da análise da avaliação e quantificação dos agentes de degradação que em sua maioria, são classificados como agentes climáticos. Assim, a exposição ou proteção de uma fachada ou parte dela aos agentes incidentes pode diferenciar o nível de degradação que se evidencia (BAUER e SOUZA, 2022).

Mensurar a degradação possibilita várias aplicações práticas na construção civil. Pode ser usada para aferir condições de vida útil, quantificar danos, observar gravidade, e definir operações de manutenção preditiva ou corretiva de acordo com a necessidade de cada edificação (BAUER e SOUZA, 2022). A vida útil é um dos critérios de durabilidade, podendo ser definida como o período em que o edifício e suas partes atendem os requisitos mínimos de desempenho, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção nos intervalos de tempo indicados e necessários para determinado sistema (ISO 15686-1, 2011; ABNT NBR 15575-1, 2021). O MMD (Método de Mensuração da Degradação) é uma metodologia que traduz a degradação existente em indicadores de degradação quantitativos. Essa metodologia foi desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Brasília orientados pelo Professor Bauer e colaboradores (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SOUZA, 2016; PINHEIRO, 2016; PIAZZAROLLO, 2019; SOUZA, 2019; MOTA 2021). O MMD tem como objetivo mensurar a degradação de fachadas de edifícios. Esta metodologia é uma ferramenta que uniformiza as diferentes etapas da inspeção e quantificação da degradação (SOUZA, 2016; SILVA, 2014).

Vários autores discutem a evolução da degradação em modelos de vida útil, sendo para o caso da base de dados utilizada definido o valor de FGD (Fator Geral de Danos) de 0,05 como limite de vida útil (BAUER *et al.*, 2018; SOUZA e BAUER, 2020; SOUZA, 2019; SOUZA *et al.*, 2019). Quando a fachada analisada apresenta indicador de degradação inferior ao limite aceitável ($FGD = 0,05$), a estimativa de vida útil identifica o momento em que essa fachada possivelmente atingirá esse limite. Caso a fachada apresente indicador de degradação superior ao aceitável, a estimativa de vida útil identifica o momento em que essa fachada já atingiu o limite de degradação aceitável.

Além da quantificação da degradação, observa-se há alguns anos que é importante avaliar o processo de degradação considerando duas fases distintas: iniciação e propagação. A degradação evolui de forma diferenciada ao longo do tempo, além de ser singular a cada tipo de material. A ISO 15686-7/2012 elaborada para atender necessidades e lacunas voltadas para a avaliação de desempenho da vida útil, apresenta um exemplo de previsão de vida útil e planejamento de manutenção para a estrutura de concreto da Olimpíada Torre em Munique, em que fica evidente a existência de uma fase de iniciação e outra de propagação da degradação.

Para estruturas de concreto armado, Tuutti (1982) estabeleceu um modelo de evolução da degradação, com foco na corrosão das armaduras. A fase de iniciação se caracteriza pela penetração dos agentes agressivos, até o momento no qual a armadura se despassiva. Com a despassivação da armadura, inicia-se a fase de propagação da corrosão (HELENE, 1997; CARMONA, 2005; PAKKALA, 2019). A fase de propagação da corrosão se caracteriza pelo desenvolvimento das reações de corrosão. Na fase de propagação, quando aparecem manchas de corrosão na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobertura 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).

Bordalo et al. (2011) estudando revestimentos cerâmicos identificou que 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; por outro lado, 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 entropia, de tal modo que uma determinada ação afete as outras e vice-versa.

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.

Diante do exposto e da relevância de se compreender as duas fases do processo de degradação e suas consequências em revestimentos cerâmicos de fachadas, o estudo tem por foco avaliar com detalhes o processo de iniciação e propagação da degradação. Devido a sua gravidade e complexidade, conhecer minuciosamente o que ocorre numa fase avançada da degradação pode ser ferramenta valiosa para atuar prevenindo anomalias e até mesmo trabalhar de forma mais assertiva na correção de problemas recorrentes em revestimentos de fachadas.

2 METODOLOGIA

A metodologia do estudo é dividida em quatro fases: caracterização dos edifícios estudados e descrição das amostras; quantificação da degradação, previsão da vida útil e por fim, análise das duas fases da degradação: iniciação e propagação.

2.1 Caracterização dos Edifícios e Descrição das Amostras

As amostras de fachadas investigadas fazem parte da base de dados que vem sendo desenvolvida por Bauer e colaboradores no projeto “Degradação, mensuração e modelação” (DMM). A amostra de estudo é composta por edifícios situados em Brasília – DF. É possível destacar como características da cidade localizada na região central do Brasil, topografia predominantemente plana. É possível pontuar também uma certa padronização da tecnologia construtiva. 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).

As edificações analisadas na pesquisa pertencem a base de dados do projeto “DMM Project” (Degradação: mensuração e modelação) desenvolvido na Universidade de Brasília (BAUER, 2021; BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020; PIAZZAROLLO, 2019; PINHEIRO; BAUER; SOUZA, 2017; SOUZA, 2019; SOUZA; BAUER, 2020). 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.

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. 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 cardinal 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°.

2.2 Quantificação da Degradação

Partindo de uma robusta base de dados organizada nos últimos anos de estudo, o Projeto de Medição de Degradação e Modelagem (DMMPROJECT), desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Brasília, propõe o Método de Medição da Degradação (MMD) (BAUER, *et al.*, 2021), que visa investigar a degradação e sua quantificação e fornecer o base para investigações que buscam modelar a degradação da envoltória de edifícios. Uma particularidade do método é que a degradação em amostras de fachada é investigada, o que permite uma análise mais específica dos comportamentos e uma análise mais detalhada do comportamento de degradação.

A metodologia do Método de Mensuração da Degradação (MMD) amplamente discutida por Bauer *et al.* (2020) quantifica a degradação em função da área afetada pelas anomalias. A fachada é dividida em amostras com áreas preferencialmente entre 50 e 500 m², utilizando como limitadores diferentes tipos de elementos construtivos ou a existência de juntas de dilatação. Após quantificada a área degradada é realizado o cálculo do Fator Geral de Degradação (FGD) utilizando a Equação 1. O modelo consiste no cálculo da degradação ponderado por pesos relativos aos tipos de danos considerados no processo de inspeção.

$$FGD = \frac{\sum_1^n (Aan(n) \cdot G(n) \cdot RI(n))}{(A \cdot \Sigma Gmax)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

n = grupo de anomalias (n = 1 Descolamento, n = 2 Fissuras, n = 3 Falhas na Juntas, n = 4 Manchas);

Aan(n) = área danificada por uma anomalia do grupo n (m²);

G = fator de gravidade da anomalia

RI = fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia

A = área total da amostra de fachada (m²)

ΣGmax = soma do máximo fator de gravidade atingidos pelas anomalias, equivalentes ao valor de 14.

O fator de gravidade 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. 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. Os seus valores

variam de 0 a 2, em que 0 indica que não há relação; 1 representa uma baixa relação e 2 que há uma forte relação

2.3 Previsão da Vida útil

É possível realizar a previsão da vida útil por meio do Método de Transposição de Pontos. Método proposto por Gaspar (2002), que possibilita traçar uma curva semelhante à curva média a cada caso. Dessa forma partindo de uma curva que representa o comportamento da degradação, é realizada uma transposição do caso real para a idade em que esse caso atingiu o estado limite de degradação.

Com base nas amostras pertencentes à base de dados do projeto DMM, Souza (2019) propõe uma curva de degradação geral de todas as amostras que é representada pela Equação 2.

$$FGD = 0,00007415 \times i^2 + 0,00023478 \times i \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

i = idade da edificação

A equação mostra um valor médio em função de todas as amostras. Analisando cada amostra separadamente é possível determinar o quanto essa amostra se afasta da curva média. Esse desvio é determinado pelo valor de K , indicado na Equação 3, que representa o quanto o FGD real da edificação se afasta da curva média da base de dados.

$$K = \frac{FGD_{real}}{FGD_{calculado}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

FGD real = FGD da amostra medido em campo

FGD calculado = FGD obtido em função da equação da curva

Com o valor de k é possível realizar a transposição da curva degradação para cada amostra utilizada no estudo. Cada ponto do FGD calculado em função da idade é multiplicado pelo valor de K específico da amostra, obtendo-se assim uma tendência de degradação que permite estimar a vida útil. Quando a fachada apresenta indicador de degradação inferior ao limite aceitável ($FGD = 0,05$), a estimativa de vida útil identifica o momento em que essa fachada possivelmente atingirá esse limite. Caso a fachada apresente indicador de degradação superior ao limite considerado, a estimativa

de vida útil identifica o momento em que essa fachada atingiu o limite de degradação.

2.4 Fases da Degradação

Considerando o levantamento bibliográfico sobre o tema, que deixa claro a existência de duas fases ao longo da degradação de elementos construtivos, como forma de limitar a iniciação e propagação, utiliza-se como referência o valor de FGD. Com base em estudos já desenvolvidos (SOUZA, 2019), o estado limite de degradação adotado corresponde ao valor de FGD igual a 0,05. Esse valor de FGD indica que o sistema de revestimento não está em conformidade com a função principal para a qual foi projetado e que há urgência de manutenção. Cabe destacar que apesar do que foi adotado para o presente estudo, 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.

Vários autores discutem a evolução da degradação 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 e BAUER, 2020; SOUZA, 2019; SOUZA et al., 2019). Quando a fachada analisada apresenta indicador de degradação inferior ao limite aceitável (FGD = 0,05), a estimativa de vida útil identifica o momento em que essa fachada possivelmente atingirá esse limite. Caso a fachada apresente indicador de degradação superior ao aceitável, a estimativa de vida útil identifica o momento em que essa fachada já atingiu o limite de degradação aceitável.

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, característico do que acontece nas primeiras idades. Acima do valor limite, 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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Edifícios e Descrição das Amostras

Para o estudo foram analisados quatro edifícios com idades diferentes, sendo que cada um deles foi dividido em amostras conforme o Método de Mensuração de Degradação (MMD) (BAUER, 2021; BAUER; SOUZA; PIAZZAROLLO, 2020; PIAZZAROLLO, 2019; PINHEIRO; BAUER; SOUZA, 2017; SOUZA, 2019; SOUZA; BAUER, 2020). No Quadro 1 estão

apresentados os edifícios com suas respectivas idades e quantidade de amostras pertencentes a cada orientação. Ressalta-se que os 4 edifícios estudados são em revestimento cerâmico.

Quadro 1 - Apresentação e nomenclatura dos edifícios estudados e idade

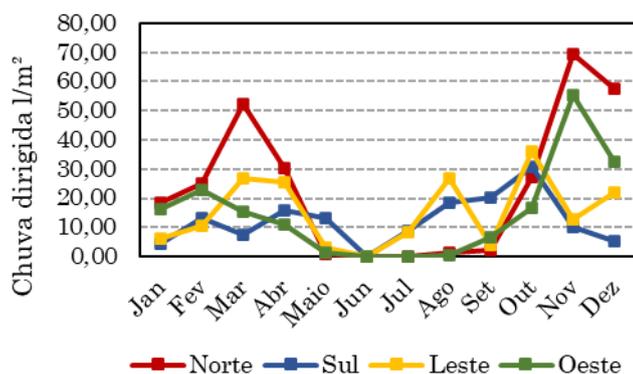
Edifício	Nº de Amostras	Nº de amostras por orientação	Idade (anos)
A	9	N (2), S (2), L (3), O (2)	19
B	11	N (1), S (1), L (9), O (0)	24
C	27	N (19), S (7), L (1), O (0)	36
D	18	N (4), S (4), L (2), O (8)	43

Fonte: Dos autores, (2023).

As características de exposição relacionadas à base de dados utilizada, aponta o comportamento para cada orientação em relação à radiação solar e a chuva dirigida. Tais considerações são de extrema relevância ao se estudar a degradação e suas fases. As particularidades envolvidas no processo de degradação devem estar atreladas a uma base de dados representativa dos dados reais e adequados daquela determinada região ou local de estudo. Cada cidade ou local de estudo possui características únicas e específicas que devem ser consideradas ao se realizar um estudo de degradação, como condições climáticas, tipologia construtiva e tipos de materiais.

Na Figura 1 podem ser observados os dados referentes à chuva dirigida acumulada a cada mês ao longo de um ano e o total incidente para as quatro orientações e para os dois períodos característicos: período chuvoso e período seco. Nos meses chuvosos, meses de outubro a março, observa-se que os maiores valores de chuva dirigida acumulada foram encontrados nas fachadas com orientação Norte. O mês com maior incidência foi o de novembro, para a orientação Norte. Para as orientações Sul e Leste, o maior valor foi referente para cada uma delas foi o mês de outubro. Para Oeste, a maior incidência de chuva dirigida obtida foi para o mês de novembro. Para as quatro orientações consideradas no estudo, o menor valor de incidência foi para o mês de junho, mês considerado bastante seco na cidade de Brasília.

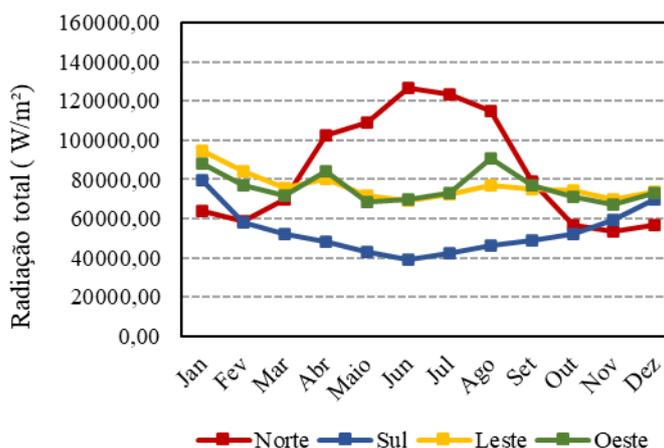
Figura 1 - Incidência de chuva dirigida ao longo do ano



Fonte: Dos Autores (2023)

Na Figura 2 são apresentados os resultados de radiação ao longo do ano e o total acumulado no mês para as respectivas orientações. A radiação se mostra mais incidente na orientação Norte, enquanto a menor incidência ocorre na fachada Sul. Menores incidências de radiação tendem a apresentar os menores indicadores de degradação (FGD). Em relação à radiação solar média mensal do ano, meses do período seco, que vai de abril a setembro, os maiores valores são observados para a fachada Norte. Observa-se também, que os valores obtidos para as fachadas Leste e Oeste foram bem próximos nas duas orientações ao longo de todo o ano e que os menores valores foram para as fachadas de orientação Sul.

Figura 2 - Incidência de radiação solar total (W/m²) ao longo do ano



Fonte: Dos Autores (2023)

Os dados apresentados por orientação evidenciam que as orientações que apresentam maiores valores anuais de radiação solar e chuva dirigida, estão mais propícias a se degradarem de forma mais rápida e mais intensa.

3.2 Quantificação da Degradação e suas fases

Com base no limite de FGD de 0,05, que diferencia as fases de iniciação e propagação, no Quadro 2 é possível observar quantas amostras estão abaixo e acima do limite considerado, para as quatro orientações analisadas, para cada um dos 4 edifícios estudados. Além da quantidade de amostras por faixa, na tabela estão apresentados os valores médios para FGD para Norte, Sul, Leste e Oeste, para amostras abaixo e acima de 0,05.

Quadro 2 - Quantidade de amostras por orientação abaixo e acima do limite de FGD = 0,05

Edifício (idade)	Faixa de FGD	Nº de amostras				FGD Médio			
		Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
A (19 anos)	< 0,049	2	2	3	2	0,012	0,013	0,017	0,036
	> 0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
B (24 anos)	< 0,049	0	1	9	0	0	0,014	0,014	0
	> 0,05	1	0	0	0	0,126	0	0	0
C (36 anos)	< 0,049	0	1	0	0	0	0,045	0	0
	> 0,05	19	6	1	0	0,149	0,098	0,125	0
D (43 anos)	< 0,049	0	0	0	0	0	0	0	0
	> 0,05	4	4	2	8	0,168	0,144	0,119	0,166

Fonte: Dos Autores (2023)

Com base na orientação, tem-se que a exposição a chuva dirigida e radiação solar é mais intensa em Norte, e é nesta orientação que se encontra a maior quantidade de amostras que ultrapassaram o limite de FGD = 0,05. Dentre as duas situações consideradas, o mais agravante para a degradação na orientação Norte é a radiação solar, atingindo valores elevados entre os meses de Abril a Setembro. Das 65 amostras estudadas, 24 delas estão na orientação Norte com FGD superior a 0,05.

Ao dividir a degradação em duas fases distintas pautando-se no valor limite de FGD, como apresentado no Quadro 5, 20 amostras estão em fase de iniciação da degradação, enquanto 45 amostras já atingiram e ultrapassaram o valor de 0,05.

Partindo da equação geral da degradação e considerando um valor médio para o FGD nas duas faixas de degradação – iniciação (i) e propagação (p) - é possível, através do coeficiente K, estipular valores de FGD ao longo do tempo e observar uma tendência de degradação (Quadro 3).

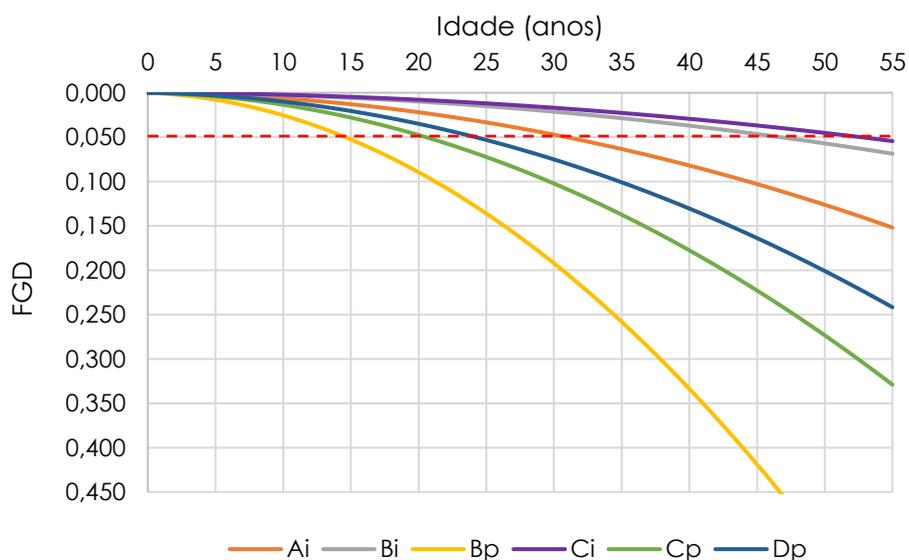
Quadro 3 - FGD médio para cada edifício em função da fase de degradação

Edifícios*	FGD	TEMPO	K
Ai	0,020	19	0,640431
Bi	0,014	24	2,606261
Bp	0,126	24	0,289585
Ci	0,024	36	0,229554
Cp	0,145	36	0,430414
Dp	0,150	43	1,019029

* As letras A, B, C e D se referem aos edifícios analisados; i se refere à fase de iniciação da degradação (FGD < 0,05) e p se refere à fase de propagação da degradação (FGD > 0,05).

Ao analisar as curvas apresentadas na Figura 3 é evidente que as representações de edifícios na fase de propagação (Bp, Cp e Dp) apresentaram uma degradação mais intensa, atingindo valores mais elevados de FGD ao decorrer dos anos. As três representações referentes à fase de propagação (p) ultrapassam o FGD limite de 0,05 (indicado pela linha tracejada), aproximadamente entre 15 e 25 anos. Para as curvas que representam edifícios em fase de iniciação da degradação (i), o valor limite de FGD considerado no estudo só é atingido após 30 anos, com Bi e Ci ultrapassando o limite apenas após 40 anos.

Figura 3 – Tendência de degradação de cada edifício em função da fase de degradação



* As letras A, B, C e D se referem aos edifícios analisados; i se refere à fase de iniciação da degradação (FGD < 0,05) e p se refere à fase de propagação da degradação (FGD > 0,05).

Fonte: Dos Autores (2023)

Por meio da curva de degradação é possível extrair o valor de vida útil de cada edifício por fase de degradação como apresentado no Quadro 4. Para os edifícios em fase de propagação (Bp, Cp e Dp) observa-se os menores valores de vida útil, com variação entre 14 e 24 anos, aproximadamente. O menor valor para vida útil é atribuído para o edifício Bp, valor que corresponde a 14,6 anos. Tal fato se justifica por apresentar um valor elevado de FGD (0,126) em idade de 24 anos, indicando uma degradação severa.

Para a fase de iniciação, o comportamento da degradação se caracteriza, além de um FGD menor que 0,05, por uma degradação intensa e com anomalias surgindo no revestimento de forma pontual. Com uma degradação menos severa, conseqüentemente a vida útil é maior, como observado em Bi e Ci. Apesar de estar em fase de iniciação, observa-se que Ai apresenta vida útil de 30,9 anos, diferenciando do comportamento observado em Bi e Ci. Fato que pode ser justificado por ser o edifício de menor idade (19 anos) e os padrões de degradação seguirem um padrão para idades mais avançadas.

Quadro 4 - Vida útil por edifício para cada fase de degradação

Edifícios	Ai	Bi	Bp	Ci	Cp	Dp
Vida útil (anos)	30,9	46,7	14,6	52,6	20,5	24,2

4 CONCLUSÕES

Ao analisar o comportamento da degradação e como ela evolui ao longo do tempo, observa-se claramente uma distinção nas fases de iniciação e propagação. A primeira fase, característica das primeiras idades, é a etapa na qual começam a surgir as anomalias de forma mais branda e pontual. A fase posterior, é considerada de propagação. Na propagação a quantidade e a intensidade de anomalias tende a ser maior, bem como a ocorrência de sobreposição entre elas. Uma anomalia pré-existente ao longo do tempo e da atuação dos agentes de degradação pode se transformar em uma anomalia mais grave para o revestimento.

As amostras que estão em uma orientação com maior exposição à chuva dirigida e radiação solar por exemplo, como as amostras de orientação Norte, tendem a atingir a fase de propagação mais rapidamente. Ao observar as quatro orientações, as que estão mais expostas além de se degradarem em um intervalo de tempo menor, também apresentam tendência de maior gravidade em suas anomalias, o que pode ocasionar dificuldade na etapa de correção ou resolução do problema.

Em termos de vida útil, a fase de propagação por sua maior intensidade e gravidade tende a apresentar os menores valores, uma vez que as fachadas dos edifícios precisam passar por reparos e manutenção em um intervalo de tempo menor. Os edifícios que se enquadram na fase de iniciação, apresentam problemas e falhas pontuais e apresentam uma vida útil mais elevada.

Entender as duas fases distintas e as características de cada uma delas, possibilita atuações práticas na resolução e problemas. Em muitos casos é possível evitar o aparecimento de uma determinada anomalia ou atuar minimizando as suas consequências para a envoltória de um edifício.

REFERÊNCIAS

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.

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. DMM Project: Degradação de Edifícios – Mensuração e Modelação. Projeto de pesquisa. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil—Brasília: Universidade de Brasília- UNB, 2021.

BAUER, E.; SOUZA, A. L. R. Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. Construction and Building Materials, v. 347, n. 128563, p. 2–12, set. 2022.

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

BISENIECE, 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.; GASPAS, 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.

BRANCO, F.; PAULO, P.; GARRIDO, M. (2013) *Vida útil en la construcción civil*. Internacional boletín técnico asociación latinoamericana de control de calidad. Patología y Recuperación de la Construcción Alconpat. pp. 1-22.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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

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.

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.

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.

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.

SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAR, P. L. Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings. Lisboa, Portugal: Springer International Publishing Switzerland, 2016.

SHOHET, I. M.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. Deterioration patterns for maintenance management-A methodological approach. *Durability of Building Materials and Components*, n. 8, p. 1666–1678, 1999.

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.; BAUER, E. Estado limite de degradação de fachadas revestidas em cerâmicas. V Congresso Internacional na "Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios". Anais...2020.

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.; PIAZZAROLLO, C. B.; BAUER, E. Aplicação do Método de Mensuração de Degradação em revestimentos de fachadas. TECSIC-2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, ago. 2019.

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

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