



## METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS

**BAUER, Elton (1); LOPES, Ana (2); MOTA, Larissa (3)**

(1) Universidade de Brasília, [elbauerlem@gmail.com](mailto:elbauerlem@gmail.com)

(2) Universidade de Brasília, [anacclopes@gmail.com](mailto:anacclopes@gmail.com)

(3) Universidade de Brasília, [larissagmota@gmail.com](mailto:larissagmota@gmail.com)

### RESUMO

Edifícios são protótipos constituídos por sistemas complexos de elevada dificuldade de previsão do seu comportamento ao longo do tempo. Para superar essa dificuldade, são desenvolvidas ferramentas de previsão de vida útil com base no comportamento real dos edifícios. A quantificação da degradação é o primeiro passo para o desenvolvimento dessas ferramentas. Neste sentido, o objetivo deste estudo é apresentar uma metodologia que permita o desenvolvimento de modelos de degradação de fachadas, onde através dos quais seja possível estimar a vida útil. Para tal, aplica-se o Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo de amostras de dois edifícios de idades distintas. O método é dividido em três etapas: investigação de campo, mapeamento de danos e quantificação da degradação. Essa última etapa resulta no cálculo de indicadores de degradação, tal como o Fator Geral de Danos (FGD). Os resultados do estudo são expostos através da análise do FGD das amostras, que permite o desenvolvimento dos referidos modelos, onde é possível identificar padrões do processo de degradação das fachadas.

**Palavras-chave:** Degradação de fachadas, Vida útil, Indicadores de degradação.

### ABSTRACT

*Buildings are prototypes made up of complex systems that are difficult to predict their behavior over time. To overcome this difficulty, they are life prediction tools based on the actual behavior of buildings. Quantifying degradation is the first step in developing these tools. In this sense, the aim of this study is to present a methodology that allows the development of facade degradation models, through which it is possible to estimate the useful life. To do this, apply the Degradation Measurement Method (MMD) to the study of samples from two buildings of different ages. The method is divided into three steps: field investigation, damage mapping and degradation quantification. This last step results in the calculation of degradation indicators, such as the General Damage Factor (FGD). The results of the study are exposed through the analysis of the products FGD, which allows the development of the models, where it is possible to identify the patterns of the degradation process of the facades.*

**Keywords:** Facade degradation, Service life, Degradation indicators.

## 1 INTRODUÇÃO

As fachadas constituem o elemento de construção mais exposto à ação dos agentes externos. Esses agentes são fatores que alteram adversamente as propriedades dos materiais e dos elementos, podendo ter diversas procedências, dentre os quais se destacam os provenientes do clima, tais como radiação, temperatura e chuva dirigida (ASTM-E632, 1996). Em função da elevada e contínua exposição à ação dos agentes

de degradação, os revestimentos das fachadas são mais suscetíveis à ocorrência de anomalias, conseqüentemente, tendo redução de seu desempenho.

Assim, após entrarem em serviço, os revestimentos iniciam o processo de deterioração até deixarem de cumprir níveis mínimos de desempenho que lhes são exigidos. Para os revestimentos em argamassa, numa fase inicial, ocorrem sobretudo problemas de manchas, relacionados com a deposição de sujeiras sobre a superfície da fachada ou com fenômenos de escoamento de água das chuvas (FLORES-COLEN; DE BRITO; FREITAS, 2006). Podem ainda ocorrer fissurações que com o tempo podem evoluir e até conduzir situações de sobreposição de mecanismos de degradação (GASPAR; FLORES-COLEN; DE BRITO, 2006). Na fase final do ciclo de vida, podem ocorrer anomalias por perda de aderência, como pulverulências, ou os destacamentos (GASPAR; FLORES-COLEN; DE BRITO, 2007).

Neste contexto, 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. Portanto, 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.


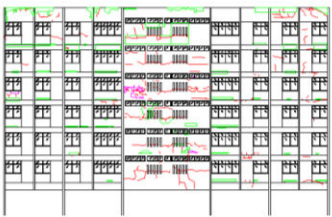
No intuito de superar a dificuldade que se tem na mensuração da degradação diferentes metodologias são propostas no âmbito internacional (SHOHET *et al.*, 1999; SOUSA, 2008; GASPAR, 2009; GASPAR & DE BRITO, 2011; SILVA, DE BRITO & GASPAR, 2012; GALBUSERA, 2013; GALBUSERA, DE BRITO & SILVA, 2014). Em âmbito nacional, sob orientação do professor Elton Bauer na Universidade de Brasília é desenvolvido o Método de Mensuração da Degradação (MMD), onde diferentes estudos contribuem na sua consolidação e avanço metodológico (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SILVA *et al.*, 2014; SOUZA, NASCIMENTO & BAUER, 2015; SOUZA, 2016; SANTOS, 2018). A aplicação do MMD proporciona a quantificação da degradação e o cálculo de índices que permitem o desenvolvimento de modelos através dos quais se pode prever de vida útil.

Deste modo, o objetivo deste estudo é apresentar o MMD através da aplicação na investigação de dois edifícios de idades distintas, 17 e 43 anos, localizados em Brasília-Brasil. As fachadas dos edifícios estudados possuem revestimento em argamassa. O índice de degradação calculado e analisado para as amostras de fachadas é o Fator Geral de Danos (FGD).

## 2 METODOLOGIA

A metodologia a adotar neste estudo é baseada no procedimento metodológico de avaliação da degradação de fachadas (ANTUNES, 2010; BAUER *et al.*, 2011; SILVA, 2014), denominado Método de Mensuração da Degradação (MMD) o qual inclui as três etapas descritas de forma sucinta no Quadro 1.

**Quadro 1 – Etapas do Método de Mensuração da Degradação (MMD)**

Etapas	Descrição	
1. Investigação de campo	Etapa que engloba as inspeções <i>in situ</i> e o registro rigoroso das anomalias.	
2. Mapeamento de danos	Etapa que contempla a divisão e classificação das amostras, o tratamento de imagens e o registro quantificável de anomalias.	
3. Quantificação da degradação	Consiste no cálculo de índices de degradação.	$FD = \frac{\sum A_{d(n)}}{A_t}$ $FGD = \frac{\sum (A_{d(n)} \cdot k_n \cdot k_{cn})}{A_t \cdot \sum k_{m\acute{a}x}}$ <p style="text-align: center;">...</p>

**Fonte:** dos autores

Neste estudo, as fachadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) de dois edifícios de idades de 17 e 43 anos, com revestimento em argamassa são investigadas com o objetivo de quantificar a degradação aplicando o MMD. Os edifícios estão localizados em Brasília-Brasil, nomeados por edifício A e edifício B, sendo A o edifício de 17 anos e B o edifício de 43 anos.

Na investigação de campo (etapa 1) é realizada a inspeção *in situ* dos dois edifícios estudados com o objetivo de identificar as anomalias das fachadas através do seu registro rigoroso em croquis. As anomalias investigadas são definidas de acordo com a camada na qual ocorrem, conforme exposto no Quadro 2. Na camada de argamassa as anomalias investigadas são descolamento, fissura, pulverulência, eflorescência e mancha. E na película de pintura são descolamento, fissura e bolha.

**Quadro 2 – Classificação e denominação das anomalias investigadas**

Camada	Anomalia	Denominação
Argamassa	Descolamento	De.A
	Fissuração	Fi.A
	Pulverulência	Pu.A
	Eflorescência	Ef.A
	Manchas	Ma.A
Pintura	Descolamento	De.P
	Fissuração	Fi.P
	Bolhas	Bo.P

Fonte: adaptado de Santos, 2018

A etapa 2, mapeamento de danos, é efetivada através da obtenção do mapa de danos das amostras das fachadas para cada orientação a fim de que as anomalias registradas no mapa sejam passíveis de quantificação de sua extensão. Os dois edifícios, A e B, investigados resultam no total de 30 amostras, distribuídas por orientação cardinal conforme o Quadro 3.

**Quadro 3 – Quantidade de amostras por orientação cardinal**

Edifício	Idade	Norte	Sul	Leste	Oeste
A	17 anos	1	1	6	6
B	43 anos	1	1	7	7

Fonte: adaptado de Santos, 2018

Por fim, a quantificação da degradação (etapa 3) é alcançada através do cálculo de índices de degradação. Para tal, é sobreposta à amostra mapeada uma malha com unidades de área de 0,25 m<sup>2</sup> (0,50 m x 0,50 m). Deste modo, a área danificada por cada anomalia identificada na etapa 1 é quantificada. Neste estudo, o índice calculado é o Fator Geral de Danos (FGD), o qual é ponderado por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias consideradas durante a inspeção *in situ* das fachadas. O cálculo do FGD é determinado pela Equação 1 (SANTOS, 2018).

$$FGD = \frac{\sum(A_{d(n)} \cdot k_n \cdot k_{cn})}{A_t \cdot \sum k_{m\acute{a}x}} \quad (1)$$

onde,  $A_{d(n)}$  = área danificada por uma anomalia n (m<sup>2</sup>);

$k_n$  = constante de ponderação das anomalias, em função do nível de condição (1, 2, 3, 4) que depende da extensão da anomalia de acordo com as Figuras 1 e 2;

$k_{cn}$  = constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas;

$A_t$  = área total da amostra de fachada (m<sup>2</sup>);

$\sum k_{m\acute{a}x}$  = somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição.

As variáveis de ponderação  $k_n$  e  $k_{cn}$  refletem pesos relativos à gravidade de cada anomalia (SANTOS, 2018). A constante  $k_n$  é o nível de condição dos danos a qual estabelece uma escala de degradação das anomalias em função da área identificada. Os níveis de condição ( $k_n$ ) para cada anomalia são determinados de acordo com a extensão dos danos exibida nas Figuras 1 (para anomalias que ocorrem na camada de argamassa) e 2 (para anomalias que ocorrem na camada de pintura), conforme Santos (2018). Assim, nas Figuras 1 e 2, “x” se refere à porcentagem de área degradada.

**Figura 1 – Níveis de condição das anomalias da camada de argamassa de acordo com a porcentagem de área degradada**

Nível de condição $k_n$	Anomalias - Camada de argamassa				
	Descolamento (De.A)	Fissuração (Fi.A)	Pulverulência (Pu.A)	Eflorescência (Ef.A)	Mancha (Ma.A)
1	$x \leq 1,04\%$	$x \leq 33,33\%$	$x \leq 0,88\%$	$x \leq 0,47\%$	$x \leq 16,02\%$
2	$1,04\% < x \leq 2,24\%$	$33,33\% < x \leq 51,40\%$	$0,88\% < x \leq 2,79\%$	$0,47\% < x \leq 0,60\%$	$16,02\% < x \leq 28,73\%$
3	$2,24\% < x \leq 2,89\%$	$51,40\% < x \leq 66,58\%$	$2,79\% < x \leq 3,82\%$	$0,60\% < x$	$28,73\% < x$
4	$2,89\% < x$	$66,58\% < x$	$3,82\% < x$	-	-

Fonte: adaptado de Santos, 2018

**Figura 2 – Níveis de condição das anomalias da camada de argamassa de acordo com a porcentagem de área degradada**

Nível de condição $k_n$	Anomalias - Camada de pintura		
	Descolamento (De.P)	Fissuração (Fi.P)	Bolhas (Bo.P)
1	$x \leq 2,31\%$	$x \leq 1,23\%$	$x \leq 1,92\%$
2	$2,31\% < x \leq 7,67\%$	$1,23\% < x \leq 11,61\%$	$1,92\% < x \leq 5,22\%$
3	$7,67\% < x$	$11,61\% < x$	$5,22\% < x$
4	-	-	-

Fonte: adaptado de Santos, 2018

Anomalias com menores gravidades ao revestimento (Ef.A, Ma.A, De.P, Fi.P e Bo.P), quando levado em consideração a queda de desempenho,

Figuras 1 e 2, não foram classificadas no pior nível de condição (nível 4). A justificativa é que essas anomalias podem causar o fim da vida útil do revestimento de pintura (nível 3), no entanto, agindo de modo isolado, dificilmente acarretam na perda dos requisitos impostos a argamassa de revestimento (SANTOS, 2018).

Os valores da constante  $k_{cn}$  representam a importância relativa das anomalias, de acordo com Santos (2018), e estão exibidas no Quadro 4.

**Quadro 4 – Valores de  $k_{cn}$**

Anomalia	De.A	Fi.A	Pu.A	Ef.A	Ma.A	De.P	Fi.P	Bo.P
$k_{cn}$	0,86	1,00	0,44	0,29	0,24	0,19	0,07	0,08

Fonte: adaptado de Santos, 2018

Deste modo, fissuras (1,00) apresentam um grau de importância superior aos destacamentos (0,86) e estes apresentam peso superior às pulverulências (0,44), considerando a ocorrência das anomalias na camada de argamassa.

Por fim, no cálculo do FGD, o somatório do  $k_{máx}$  assume valor igual a 27 (4 + 4 + 4 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3), considerando o nível da pior condição de cada anomalia. Assim, o FGD das amostras das fachadas dos edifícios A e B é calculado e analisado, permitindo o estudo do processo de degradação.

### 3 RESULTADOS

No contexto da investigação dos edifícios estudados, o Quadro 5 exibe os valores de FGD das amostras das fachadas de acordo com a orientação cardinal.

**Quadro 5 – Valores de FGD das amostras**

Edifício	Norte	Sul	Leste	Oeste
A (17 anos)	0,0019	0,0039	0,0053	0,0057
	-	-	0,0057	0,0062
	-	-	0,0060	0,0065
	-	-	0,0063	0,0066
	-	-	0,0078	0,0069
	-	-	0,0090	0,0089
B (43 anos)	0,0398	0,0129	0,0115	0,0181
	-	-	0,0131	0,0336
	-	-	0,132	0,0352

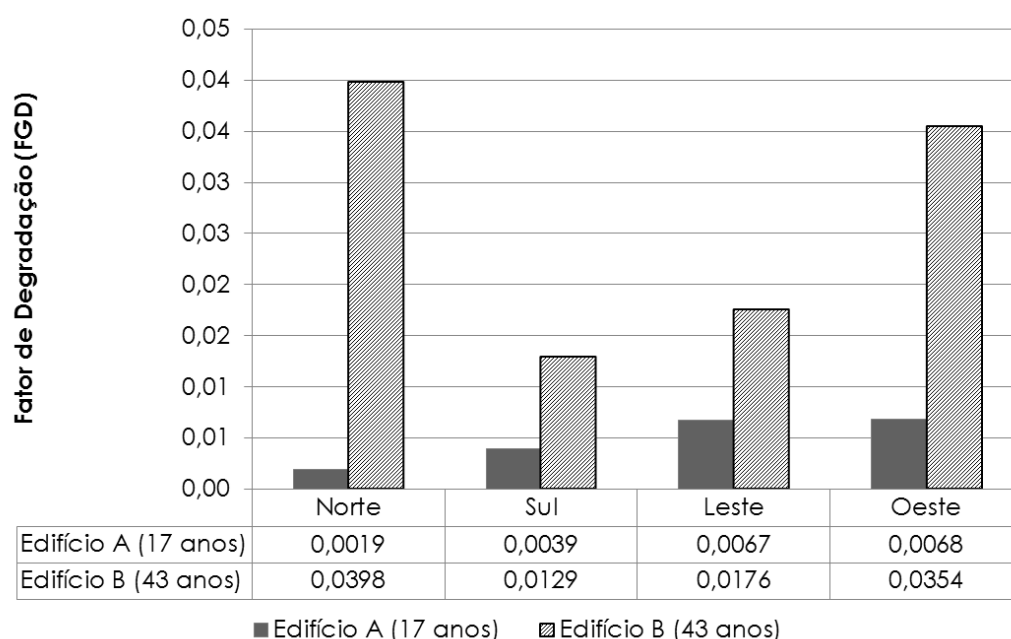
	-	-	0,0135	0,0366
	-	-	0,0187	0,0381
	-	-	0,0192	0,0426
	-	-	0,0338	0,0438

Fonte: dos autores

O FGD é uma ferramenta de cálculo do percentual da degradação e estimativa da vida útil de fachadas. Assim, permite estabelecer o estágio de degradação total das amostras de fachada através da ponderação de diferentes tipos de anomalias (SANTOS, 2018). Dessa forma, quanto mais alto o valor de FGD mais degradada é a amostra. Nota-se que o Edifício A possui índices de degradação FGD menores que o Edifício B, Quadro 5. Esse resultado é coerente, tendo em vista a evolução da degradação ao longo do tempo quer seja devido ao envelhecimento natural quer devido ao tempo de exposição aos agentes de degradação.

A Figura 3 expõe o FGD médio das amostras em função da orientação cardinal.

**Figura 3 – Fator Geral de Danos (FGD) médio das amostras**



Fonte: dos autores

Da leitura da Figura 3, verifica-se que os valores FGD médio para o Edifício B correspondem em ordem decrescente às amostras de fachadas de orientação: Norte, Oeste, Leste e Sul. Isto é, as fachadas Norte e Oeste são as que possuem valores de FGD mais altos, sendo as fachadas do Edifício B que apresentam maior degradação. Todavia, para o Edifício A, de

apenas 17 anos, as fachadas Oeste e Leste são as que apresentam maior degradação e a fachada Norte é a menos degradada.

Em Brasília, a incidência de radiação solar ocorre em ordem decrescente nas seguintes orientações cardeais: Norte, Leste, Oeste e Sul (Nascimento *et al.*, 2016). Assim, sendo a radiação solar um dos principais agentes de degradação das fachadas, sua elevada incidência na fachada Norte pode explicar o FGD alto obtido para essa fachada do Edifício B. No entanto, não sugere o mesmo para o edifício mais novo (A), seja pela própria complexidade da degradação no que se refere à influência de diferentes fatores durante o ciclo de vida da fachada ou por condições específicas proporcionadas pelo entorno do edifício, como sombreamentos.

Em contrapartida, as temperaturas superficiais mais altas são alcançadas nas fachadas de orientação Oeste. Portanto, a intensidade da ação desse agente pode estar associada ao alto valor de FGD médio da fachada Oeste para o Edifício A. Por outro lado, o elevado valor de FGD médio da fachada Norte do edifício de 43 anos pode estar relacionado com o efeito cíclico.

#### **4 CONCLUSÕES**

- A metodologia utilizada se mostra eficiente e de potencial aplicabilidade na quantificação da degradação, permitindo o estudo da evolução da degradação em função do tempo e da orientação cardinal. Esses estudos proporcionam a identificação de padrões de degradação;
- O método fornece importantes subsídios que contribuem para a elevação da durabilidade das fachadas;
- A análise dos índices de degradação, no que se refere ao FGD, por orientação permite a associação da degradação à ação de agentes e o desenvolvimento de ferramentas de predição de vida útil;
- O método mostrou de forma concisa que a degradação é mais elevada no Edifício B, de 43 anos. Diferentemente do Edifício A (17 anos), que apresenta a fachada Oeste como a mais degradada, para o Edifício B a orientação de fachada Norte é a mais crítica em relação à degradação. Sendo a degradação um processo contínuo em função do tempo e das condições de exposição, sua evolução é resultante de efeitos cumulativos ao longo do tempo.

#### **REFERÊNCIAS**

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.



- ASTM E 632-81.** Standard Practice for Developing Accelerated Tests to a Prediction of the service Life of Building Components and Materials. Filadélfia: American Society for Testing and Materials, 1996. 6 p.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. R.; LEAL, F. E. Identification and Quantification of Failure Modes of New Buildings Façades in Brasília. **XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components**, Porto, Portugal, 2011.
- FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; FREITAS, V.P. Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades. **Journal of Building Appraisal**, 2(2), June 2006, pp. 142-156.
- GALBUSERA, M. M. **Application of the factor method to the prediction of the service life of ceramic external wall claddings**. Tese de Doutorado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2013.
- 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. 04014086 pp.
- GASPAR, P.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J. Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas. **PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios**, FEUP / Universidade Politécnica da Catalunha, Porto, Portugal, 20-21 Março 2006, pp. 541-550.
- GASPAR, P.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Anomalias por Perda de Aderência em Rebocos**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal, 22 - 23 Novembro 2007, comunicação 56/07.
- GASPAR, P. **Vida útil das construções: Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes**. Tese de Doutorado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- GASPAR P. L., DE BRITO J. Limit states and service life of cement renders on façades. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 23 (10), 2011. 1396-1404 pp.
- NASCIMENTO, M.; BAUER, E.; SOUZA, J.; ZANONI, V. Estudo da degradação por ação de agentes climáticos nas fachadas de edifícios. In: **Proceedings of Euro-American Congress**. Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, Burgos, Espanha, 2016: 650-657.
- 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.
- SHOHET, I. M.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach. **Durability of Building Materials and Components**, V.2, Anais, Ottawa, 1999.
- SILVA, A.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding. **Automation in Construction**, v. 22. 2012. 165-174pp.

- 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, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ZANONI, V. A. G. Distribuição de ocorrência de danos e patologias em fachadas de Brasília – estudo de caso. **I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento**, Coimbra, 2014.
- SOUSA, R. D. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada.** Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2008.
- SOUZA, J. S.; NASCIMENTO, M. L. M.; BAUER, E. Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias. In: **IV CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios.** Rio de Janeiro, 2015.
- SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.