

Aplicação de curvas de degradação na previsão de vida útil de revestimentos de argamassa externa com acabamento em pintura na cidade de Recife, Brasil

Application of degradation curves in the prediction of service life of external mortar coatings with paint finish in the city of Recife, Brazil

Aplicación de curvas de degradación en la predicción de vida útil de revestimientos de mortero externo con acabado de pintura en la ciudad de Recife, Brasil

Recebido: 27/05/2021 | Revisado: 06/06/2021 | Aceito: 11/06/2021 | Publicado: 24/06/2021

Antonio Rinaldo Oliveira Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8172-9383>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: jodraomagnanimo@hotmail.com

Ayrton Wagner dos Santos Gomes de Sá

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7988-7238>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: ayrton.wagner@hotmail.com

Yane Coutinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8781-0388>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: yane.coutinho@ufpe.br

Wildson Wellington Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5490-6420>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: wildsonws@gmail.com

Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4279-7156>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: arnaldo.carneiro@ufpe.br

Resumo

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um modelo para prever a vida útil de revestimentos de paredes externas em argamassa com acabamento em pintura, com base no estado de degradação de 28 edificações na cidade de Recife, Brasil. A área de revestimento afetada por diferentes manifestações patológicas foi medida e um índice numérico para descrever a gravidade da degradação do revestimento (S_w) foi calculado. A partir deste índice, foram construídas curvas de degradação em função de fatores intrínsecos (orientação cardinal, textura, cor e presença de detalhes construtivos) e extrínsecos (distância do mar e proximidade de fontes poluentes). Nas amostras analisadas houve o predomínio de manchas, e em menor número, fissuras e descolamentos. Dos fatores estudados, a orientação cardinal das fachadas foi o que apresentou maior influência no processo de degradação. Os resultados obtidos demonstram claramente a aplicabilidade do modelo no estudo da degradação de revestimentos, contribuindo para o desenvolvimento de ações de manutenção focadas nos fatores mais importantes na degradação de revestimentos.

Palavras-chave: Previsão de vida útil; Curvas de degradação; Revestimento de argamassa com acabamento em pintura.

Abstract

The present study aimed to develop a model to predict the service life of external wall coverings in mortar with paint finish, based on the state of degradation of 28 buildings in the city of Recife, Brazil. The area of the coating affected by different pathological manifestations was measured, and a numerical index to describe the severity of the degradation of the coating (S_w) was calculated. As a result of this index, degradation curves were constructed based on intrinsic factors (cardinal orientation, texture, color and presence of constructive details) and extrinsic factors (distance from the sea and proximity to polluting sources). In the analyzed samples, there was predominance of stains, and in less extent, cracks and detachments. The results showed that the cardinal orientation is the most influent characteristic in the durability of this coating system. The results obtained clearly demonstrate the applicability of the model in the study of the degradation of coatings, contributing to the development of maintenance actions focused on the most important factors in the degradation of coatings.

Keywords: Service life prediction; Degradation curves; Mortar coating finished with painting.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo para predecir la vida útil de revestimientos de paredes exteriores en mortero con acabado de pintura, basado en el estado de degradación de 28 edificios en la ciudad de Recife, Brasil. Se midió el área del recubrimiento afectada por diferentes manifestaciones patológicas y se calculó un índice numérico para describir la severidad de la degradación del recubrimiento (S_w). Como resultado de este índice, se construyeron curvas de degradación en base a factores intrínsecos (orientación cardinal, textura, color y presencia de detalles constructivos) y factores extrínsecos (distancia al mar y proximidad a fuentes contaminantes). En las muestras analizadas hubo predominio de manchas, y en menor cantidad de grietas y desprendimientos. De los factores estudiados, la orientación cardinal de las fachadas fue la que más influyó en el proceso de degradación. Los resultados obtenidos demuestran claramente la aplicabilidad del modelo en el estudio de la degradación de recubrimientos, contribuyendo al desarrollo de acciones de mantenimiento enfocadas en los factores más importantes en la degradación de recubrimientos.

Palabras clave: Esperanza de vida; Curvas de degradación; Revestimiento de mortero con acabado de pintura.

1. Introdução

Mudanças causadas pela exposição contínua a agentes de degradação levam os edifícios a uma perda progressiva do seu desempenho global e de seus componentes (Flores-Colen et al., 2010). O processo de degradação é natural e se inicia logo após a conclusão da construção da edificação (Dias et al., 2014). Apesar dos avanços tecnológicos, ainda há uma grande incidência de manifestações patológicas em sistemas construtivos, particularmente em revestimentos de fachadas, causando desconforto físico e estético aos usuários (Silva, 2014).

Por ser a parte mais externa da edificação, o revestimento de fachada é o sistema que mais sofre a ação dos agentes de degradação (Bauer, et al., 2015), apresentando cerca de 50% de todas as manifestações patológicas registradas nas edificações (Rodrigues et al., 2011). Desta forma, os fatores de degradação devem ser considerados na fase de concepção, assegurando a adoção de medidas adequadas, como a seleção de materiais considerando o projeto do edifício (Souza et al., 2018). Além disso, é fundamental o uso de ferramentas que forneçam suporte para manutenção de edifícios com base no conhecimento sobre seu comportamento em serviço (Silvestre & Brito, 2010). Um plano de manutenção racionalizado é a maneira mais eficaz, do ponto de vista técnico e econômico, para controlar o processo de degradação (Flores-Collen et al., 2008). Para o desenvolvimento de modelos de manutenção, é necessário conhecimento tecnológico do sistema, bem como do aspecto experimental, através da observação direta do comportamento em serviço das soluções e da ação dos fatores de degradação ao longo do tempo (Santos, 2016; Silva et al., 2011).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar e mensurar a degradação das fachadas com revestimento em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife-PE, a partir de inspeções de campo e construção de curvas de degradação, de modo a analisar a influência dos principais fatores de degradação na vida útil.

2. Fundamentação Teórica

O fenômeno de degradação não se processa de forma homogênea (Gaspar & Brito, 2005), de modo que a maioria das metodologias disponíveis para avaliar a vida útil decompõe os edifícios em suas partes, componentes ou sistemas. Os defeitos detectados em cada um dos subgrupos são posteriormente classificados de acordo com níveis de degradação estabelecidos (Chew, 2005; Gaspar & Brito, 2011; Marteinsson & Jonsson, 1999; Shohet & Paciuk, 2004). Desta forma, a previsão da vida útil pode ser baseada em modelos que analisam os vários fatores que influenciam o processo de degradação (Souza et al., 2016). Os fatores de degradação podem ser classificados em intrínsecos e extrínsecos (Petrucci, 2000; Poyastro, 2011).

2.1 Fatores intrínsecos

Os fatores intrínsecos de degradação estão relacionados às características do sistema: especificações de projeto, materiais utilizados, técnicas construtivas adotadas e uso e manutenção. O sistema de revestimento é um sistema complexo,

formado por várias camadas. Um projeto adequado deve prezar pela qualidade dos materiais utilizados e pela compatibilidade entre os materiais que compõem este sistema, considerando as condições a que eles estarão submetidos durante sua vida útil (Galbusera et al., 2014). Considerando os fatores intrínsecos que afetam fachadas, os principais estão detalhados a seguir.

A orientação cardinal da fachada, as particularidades de projeto (cor, textura, presença de detalhes construtivos) e execução de cada sistema de revestimento e as condições de vizinhança poderão resultar em desempenhos distintos para as fachadas de uma mesma edificação, diante das diversas variáveis às quais os edifícios são submetidos (Cerqueira, 2018).

A arquitetura moderna, ao privilegiar superfícies lisas e deixar de utilizar detalhes arquitetônicos e ornamentos de fachadas, como beirais, peitoris de janelas, pingadeiras, rebaixos e saliências, presentes na arquitetura das construções antigas, contribuiu para o agravamento de problemas como manchamentos e infiltração de água (Boto, 2014; Breitbach, 2009; Poyastro, 2011).

A porosidade e a rugosidade dos materiais utilizados nos revestimentos de argamassa são parâmetros de influência no estabelecimento e crescimento de microorganismos, que estão fortemente ligados à presença de umidade. A porosidade dos materiais permite a absorção e retenção de água. A rugosidade facilita a retenção e adesão de microorganismos à superfície (Barberousse et al., 2007). No entanto, apesar de superfícies rugosas serem mais susceptíveis ao depósito e adesão de partículas de sujidade, elas provocam o espalhamento do fluxo de água, permitindo uma distribuição mais homogênea e diminuindo os desgastes superficiais, evitando escorrimentos concentrados e irregulares, característicos de superfícies lisas (Poyastro, 2011).

As características dos materiais utilizados, como a cor, influenciam o coeficiente de absorção de radiação solar que está relacionado com a temperatura que a superfície externa da fachada atinge. Portanto, materiais com maiores coeficientes de absorção solar sofrem mais com a ação da temperatura e da radiação solar (Lopes, 2015).

2.2 Fatores extrínsecos

Os fatores extrínsecos estão relacionados às características do meio onde o sistema está inserido: agentes climáticos e entorno da edificação. Os agentes climáticos (umidade, temperatura, insolação, ventos, precipitação) são os principais agentes de degradação das fachadas, sendo fundamental o entendimento de sua influência em relação às manifestações patológicas (Lima & Morelli, 2003). Além das características do clima, o tipo de ação dos agentes de degradação, assim como a sua duração ao longo do ano e incidência para cada orientação da fachada, pode resultar em desempenhos distintos para as fachadas de uma mesma edificação (Cerqueira, 2018).

O conhecimento da orientação da fachada em relação à quantidade de chuva carregada por um vento pluvial predominante é importante, pois fachadas voltadas para ventos predominantes de uma determinada região recebem maiores quantidades de chuva (Poyastro, 2011). No entanto, a orientação crítica da fachada é determinada pela combinação da chuva incidente e da radiação solar (secagem), uma vez que o efeito da chuva pode ser reduzido pela secagem mais rápida provocada pela ação da radiação solar (Freitas, 2011).

A localização de cada edifício tem grande influência na sua durabilidade e manutenção, sobretudo devido às condições ambientais envolvidas, como é o caso dos edifícios situados na zona costeira, os quais estão sujeitos a uma maior e mais rápida deterioração comparados aos localizados no interior urbano (Boto, 2014). Isso ocorre porque a distância do mar influenciará a ação do efeito dos ventos, geralmente fortes, carregados de umidade, transportando sais que atacam em maior ou menor grau todos os materiais de construção (Ferreira, 2004).

Nas cidades urbanas, os edifícios estão expostos aos poluentes oriundos especialmente das emissões do tráfego de veículos nas suas proximidades. Os poluentes são depositados nas superfícies dos edifícios por deposição úmida (através da chuva) ou seca (direto do ar). A deposição ocorrerá em função do tamanho das partículas, da situação dos ventos e das características da superfície do material, provocando manchas e degradação dos materiais (Lersch, 2003).

2.3 Modelos de previsão de vida útil

Os modelos de degradação, durabilidade e vida útil são extremamente relevantes para aumentar o desempenho dos sistemas de revestimento, pois funcionam como ferramentas de feedback para auxiliar no processo de concepção e na definição de políticas de manutenção adequadas (Souza et al., 2018). Nos últimos anos, várias metodologias de previsão de vida útil foram desenvolvidas e aplicadas a diferentes componentes do edifício, principalmente às fachadas e, em particular, a revestimentos externos (Oliveira Júnior, 2020). Essas metodologias são teoricamente distintas, levando a diferentes resultados, com diferentes níveis de dificuldade, acessibilidade, tempo e custos de processamento (Lourenço et al., 2007). Portanto, é necessário avaliar e comparar as diferentes metodologias disponíveis, considerando suas vantagens e limitações, ajudando o interessado a escolher um determinado modelo de acordo com um conjunto de critérios previamente estabelecidos (Silva et al., 2018).

Das diferentes formas de avaliação da vida útil dos componentes dos edifícios, destaca-se a metodologia de inspeção de edifícios. De acordo com Silva (2009), é importante salientar que, independentemente do rigor adotado durante o trabalho de campo, existem inúmeras limitações, tais como: a susceptibilidade a erros de projetos e execução que estejam ocultos, não sendo detectáveis numa inspeção visual; a dificuldade em realizar medições e visualizar as zonas elevadas do revestimento; a dificuldade em obter informação relativa às manutenções e reparações de que o revestimento foi alvo; a subjetividade inerente a quem realiza o trabalho de campo, ou seja, depende significativamente da formação e experiência do inspetor. Contudo, a metodologia de inspeção de edifícios permite uma avaliação da vida útil por conhecimento das características do sistema baseado no tempo mínimo de comprovação do desempenho e considerando a vida útil pretendida (Souza, 2016). Com os dados obtidos no trabalho de campo, seguindo a metodologia da inspeção de edifícios, é possível quantificar a degradação dos sistemas de revestimento de fachadas, transformando-a em um índice numérico que pode ser avaliado ao longo do tempo, através da construção de curvas de degradação (Gaspar, 2009; Shohet et al., 1999).

As curvas de degradação permitem avaliar o desempenho do sistema de revestimento ao longo do tempo, fornecendo diretrizes para elaboração de projetos de revestimento, especificações de materiais e planejamento de ações de manutenção. As curvas de degradação podem assumir diversas formas, como por exemplo côncava, convexa, linear, ou em forma de S, em função dos fatores intrínsecos e extrínsecos a que os materiais estão expostos (Gaspar, 2009; Shohet et al., 1999). Esta metodologia com baixo custo e tempo de processamento, não requer software específico, e vários trabalhos obtiveram bons resultados com sua aplicação (Chai, 2011; Gaspar, 2009; Silva, 2014).

Neste sentido, um modelo de previsão de vida útil foi estabelecido para revestimentos de argamassa com acabamento em pintura; ou seja, foram geradas curvas tempo \times índice de degradação. Os dados para a construção das curvas de degradação para a previsão de vida útil foram coletados por meio de registro visual do estado de degradação de 236 fachadas de 28 edifícios na cidade de Recife. Com base nessas curvas de degradação, foi avaliada a evolução da degradação de revestimentos com o tempo e analisada a influência de alguns fatores intrínsecos e extrínsecos nessas fachadas objeto do estudo.

3. Metodologia

O modelo de previsão de vida útil proposto é baseado naqueles desenvolvidos por Gaspar e Brito (2008, 2011) e Gaspar (2009). Os autores propuseram um índice numérico chamado severidade da degradação (Sw), que fornece uma estimativa do estágio de degradação de cada revestimento com base nos dados coletados: o registro visual do estado de degradação das edificações inspecionadas.

Este método foi desenvolvido inicialmente para revestimentos de argamassa, mas bons resultados foram obtidos para outros sistemas de revestimento: cerâmico (Silva, 2014; Sousa, 2008; Souza, 2016), pétreo (Mousavi et al., 2017; Silva, 2009), pintura (Chai, 2011; Santos, 2018), concreto aparente (Serralheiro et al., 2017) e ETICS (Ximenes et al., 2015). Neste estudo de caso, esta metodologia foi aplicada a fachadas com revestimento de argamassa com acabamento em pintura, sendo a severidade

da degradação (S_w) obtida através da Equação (1):

$$S_w = \frac{\sum (A_n \times k_n \times k_{c,n})}{\sum (K_{máx} \times A_t)} \quad (1)$$

onde S_w é o índice de severidade da degradação (%), A_n é a área de fachada afetada por uma manifestação patológica (n)(m²), k_n é a constante de ponderação das manifestações patológicas (n), em função do nível de degradação, $\sum K_{máx}$ é o somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição, $k_{c,n}$ é a constante de ponderação da importância relativa das manifestações patológicas detectadas, e A é a área total da fachada (m²).

Para obtenção deste índice, é necessária a definição de alguns parâmetros, descritos a seguir.

3.1 Quantificação das áreas

O levantamento dimensional consiste na obtenção das dimensões da fachada e de seus elementos, como portas, janelas, sacadas e detalhes construtivos. Este levantamento foi realizado com base na metodologia de Chai (2011), devido a sua facilidade de execução, não limitando o uso desse trabalho a softwares específicos. O levantamento e a quantificação das áreas degradadas, foi realizado através de medições com uso de trena e fotografias, com precauções para não haver distorção da imagem fotográfica. Posteriormente, as fachadas foram reproduzidas, à escala, com suas respectivas medidas.

Após a obtenção das dimensões dos elementos da fachada, as áreas degradadas da fachada foram quantificadas utilizando a metodologia de Silva (2014). Esta metodologia consiste em sobrepor uma malha de dimensões de 0,50 m × 0,50 m, equivalente a 0,25 m², sobre as fachadas analisadas. O ponto inicial para sobreposição da malha foi a extremidade inferior esquerda das amostras. Em seguida, foi realizada a contagem das unidades de malha em que alguma manifestação patológica foi observada, como fissuras, descolamento ou manchas. O valor encontrado nessa contagem multiplicado pela área de cada unidade da malha (0,25 m²) fornece a área afetada para cada manifestação patológica analisada. Isto permite analisar a área de influência das manifestações patológicas, como exemplo a fissura, que não deve ser contabilizada apenas como uma linha. A Figura 1 apresenta um esquema ilustrativo da quantificação das áreas degradadas em uma fachada.

Figura 1. Esquema de sobreposição da malha.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Para cada grupo de manifestações patológicas, foi definida uma escala de níveis de degradação de 1 (degradação leve) a 4 (degradação generalizada), como apresentado na Tabela 1. No nível 1, por se tratar do estágio inicial da degradação, não foram consideradas as fissuras e os descolamentos.

Tabela 1. Manifestações patológicas analisadas.

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

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

A importância relativa de cada manifestação patológica foi definida com base no seu custo de reparação. O ajuste para o valor que melhor representa a degradação foi realizado com base em critérios adotados por diversos pesquisadores (Chai, 2011; Gaspar, 2009; Gaspar & Brito, 2011; Silva, 2009; Silva, 2014; Sousa, 2008), e constam na Tabela 2. De acordo com a relação de proporcionalidade dos valores da Tabela 2, tomando como exemplo uma mancha nível 1 com valor 0,25 e uma mancha nível 2 com valor 0,5, a mancha nível 2 tem o dobro de importância em relação à do nível 1. Da mesma forma, para uma mancha com valor 0,5 e um descolamento com valor 2,0, o descolamento tem 4 vezes mais importância que a mancha.

Tabela 2. Importância relativa de cada manifestação patológica.

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

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

3.2 Relação entre índice de severidade e condição de degradação

O limite da vida útil de um sistema é determinado com base no nível aceitável de degradação, do ponto de vista físico. Desta forma, é essencial estabelecer a relação entre o índice de severidade e a condição de degradação do revestimento. Como em Gaspar (2009) e Chai (2011), a relação entre o índice de severidade e a condição de degradação do revestimento foi estabelecida com base na percepção e registro da degradação dos diferentes estudos de caso, conferindo valores de 1 (degradação leve) a 4 (degradação generalizada). No entanto, esta relação está associada a incertezas devido ao uso o uso de critérios subjetivos. A Tabela 3 apresenta as condições adotadas.

Tabela 3. Níveis de degradação.

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

Fonte: Oliveira Júnior (2020).

O nível 3 foi tomado como o limite de vida útil do sistema de revestimento em argamassa com acabamento em pintura. Ou seja, revestimentos com índice de severidade acima de 20% atingiram o fim de sua vida útil.

3.3 Descrição das amostras do trabalho de campo

O objeto de estudo deste trabalho foram as edificações residenciais com 3 ou 4 pavimentos com revestimento externo em argamassa e acabamento em pintura. Esta tipologia foi adotada devido à existência de um grande número destas edificações na cidade de Recife (Pires Sobrinho et al., 2012).

Na seleção das amostras foi registrada a data da última intervenção no sistema de revestimento externo, no caso, a idade da última repintura, que é importante para gerar o modelo em função do tempo. Assim, foram selecionados 28 edifícios com idades de até 15 anos, designados de EDF A até EDF ZB. Cada plano vertical de uma edificação constitui uma fachada. Desta forma, foram analisadas 236 fachadas dos 28 edifícios selecionados.

As fachadas foram caracterizadas em função de fatores extrínsecos e intrínsecos descritos na Tabela 4, que apresenta o número de casos em cada fator e a porcentagem de casos em relação à amostra total de fachadas.

Tabela 4. Descrição dos revestimentos analisados.

Tipo de fator	Fator	Categorias	Número de casos	Casos (%)
Fatores intrínsecos	Orientação cardinal	Norte	53	22
		Sul	70	30
		Leste	57	24
		Oeste	56	24
	Cor do revestimento	Branca	143	60
		Amarelo, Bege	48	20
		Verde claro, Azul claro	33	14
		Verde escuro, Azul escuro	14	6
	Textura do revestimento	Liso	133	56
		Textura	103	44
Detalhes construtivos	Ausente	41	17	
	Presente	195	83	
Fatores Extrínsecos	Distância do mar	> 5 km	165	70
		Entre 1 e 5 km	71	30
	Proximidade de poluentes	Corrente	134	57
		Desfavorável	102	43

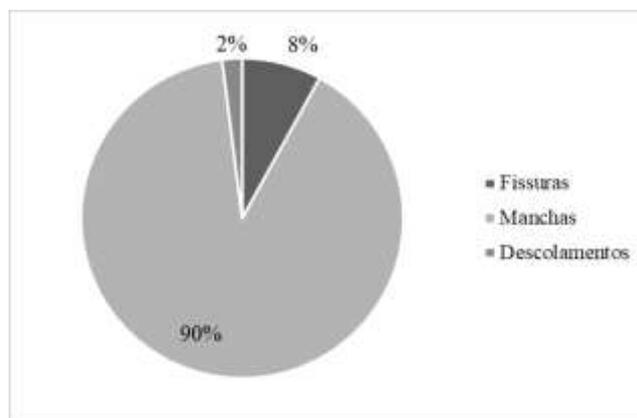
Fonte: Oliveira Júnior (2020).

4. Resultados e discussões

4.1 Descrição da ocorrência de manifestações patológicas

A partir da quantificação da área degradada, foi possível analisar a ocorrência de cada uma das manifestações patológicas, como apresentado na Figura 2.

Figura 2. Ocorrência das patologias nas amostras analisadas.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

A partir da Figura 2, observa-se o predomínio de manchas, presentes em 90% das amostras estudadas. Neste grupo de manifestações patológicas estão incluídas as manchas decorrentes de alterações de cor, sujidades, eflorescências e crescimento biológico. Em seguida, numa ocorrência menor, fissuras foram observadas em 8% das amostras (na argamassa ou na pintura) e descolamentos em 2% (na argamassa ou na pintura). A maioria das manifestações patológicas detectadas pertence à degradação nível 3 (33%), seguido pelo nível 2 (30%), nível 1 (20%) e nível 4 (17%).

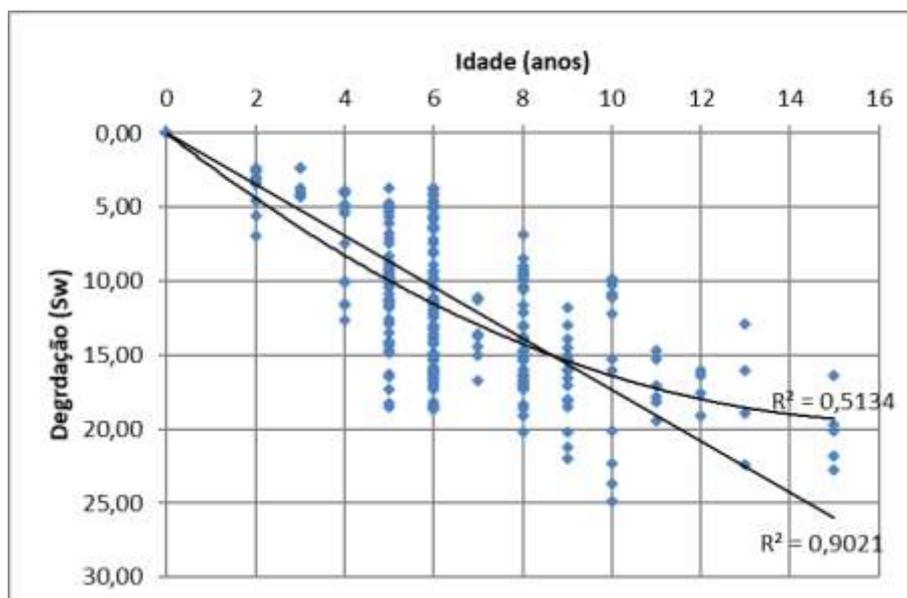
Essa distribuição, com a predominância de manchas, assemelha-se à encontrada por Chai (2011), Chai et al. (2014) e Gaspar (2009), que estudaram revestimentos de argamassa em Lisboa, Portugal, e por Pacheco (2016), que analisou manifestações patológicas em revestimentos de argamassa em Vitória, Brasil. Por outro lado, Macêdo (2017) e Santos (2018), que estudaram edificações na cidade de Brasília, observaram uma distribuição com predominância de fissuras, seguida pela

ocorrência de manchas. As demais manifestações patológicas, como descolamento e pulverulência, foram verificadas em menor quantidade. Estas distribuições variam em função das características das amostras e da região estudada. Regiões de clima quente e úmido, como o da cidade de Recife e de Lisboa (Portugal), estão mais sujeitas ao surgimento de manchas decorrentes de crescimento biológico. Regiões de clima mais seco, como é o caso de Brasília, são menos susceptíveis ao aparecimento de manchas e mais favoráveis ao surgimento de fissuras.

4.2 Modelo de previsão de vida útil

A partir da análise das 236 fachadas dos 28 edifícios, foram obtidos os pontos referentes aos índices de degradação (Sw), para a construção de gráficos tempo versus Sw. Para obter a curva de degradação, foi inserida uma curva de regressão polinomial de segundo grau, de acordo com o método proposto por Shohet et al. (1999). A linha polinomial de segundo grau foi ajustada à dispersão de pontos correspondentes aos casos analisados no trabalho de campo. Essa abordagem foi usada para determinar a curva representativa da perda de desempenho do revestimento ao longo do tempo. A Figura 3 apresenta as curvas de degradação das 236 fachadas.

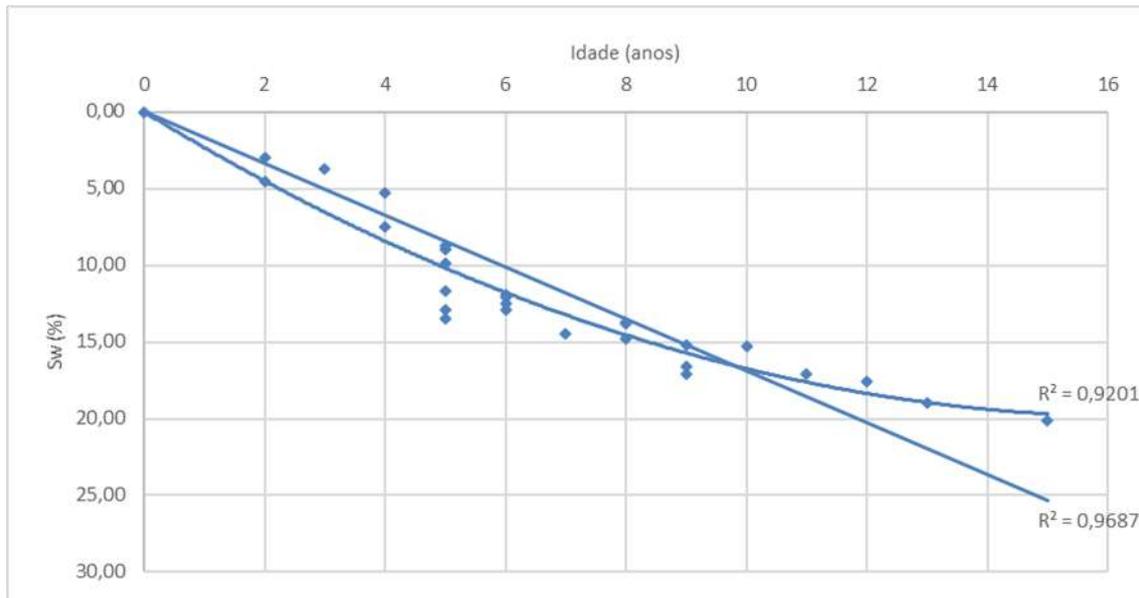
Figura 3. Curvas de degradação (linear e polinomial) das 236 fachadas analisadas.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

O coeficiente de determinação (quadrado do coeficiente de correlação instantâneo do produto Pearson (R^2)) da curva polinomial, representando a porcentagem de variação da variável "severidade" explicada pelo modelo, foi de aproximadamente 0,513. Isso indica que 51,3% da variabilidade da severidade da degradação é explicada pela idade da fachada, e 48,7% é devido a outros fatores. A Figura 4 apresenta a curva de degradação dos 28 edifícios analisados.

Figura 4. Curva de degradação polinomial dos 28 edifícios analisados.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Os pontos do gráfico da Figura 4 correspondem ao conjunto geral de degradação de todas as fachadas de um edifício; não foi considerada a degradação individual de cada fachada. No caso do edifício designado como EDF F, por exemplo, 20 fachadas foram inspecionadas, correspondendo a vários planos de fachadas deste edifício (e contabilizados na Figura 3). No entanto, na Figura 4, foi utilizada a média dos 20 resultados.

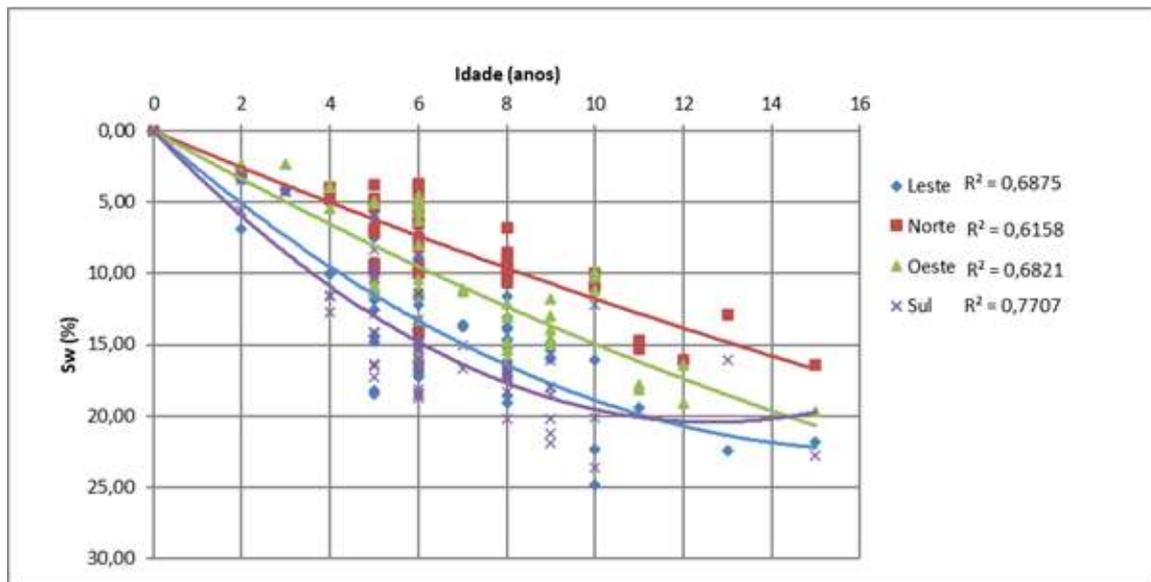
Com a eliminação da variabilidade de degradação das fachadas de cada edifício, foi obtida uma menor dispersão dos resultados. Nesta análise (Fig. 4), o coeficiente de determinação foi de 0,920, o que indica que 92,0% da variabilidade da severidade da degradação é explicada pela idade do edifício.

As características do edifício e suas condições de exposição influenciam fortemente a taxa de degradação e desempenho do revestimento ao longo do tempo. Os resultados do trabalho de campo foram, portanto, analisados de acordo com fatores intrínsecos (orientação cardinal, cor, textura e detalhes construtivos) e extrínsecos (distância do mar e proximidade de fontes poluentes), apresentados nos itens seguintes.

4.2.1 Análise da evolução da degradação em função dos fatores intrínsecos

Os fatores intrínsecos considerados nesta pesquisa foram: orientação cardinal, cor da fachada, textura e presença de detalhes construtivos. A Figura 5 mostra as curvas de degradação ao longo do tempo de acordo com a orientação cardinal das fachadas.

Figura 5. Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da orientação cardeal.



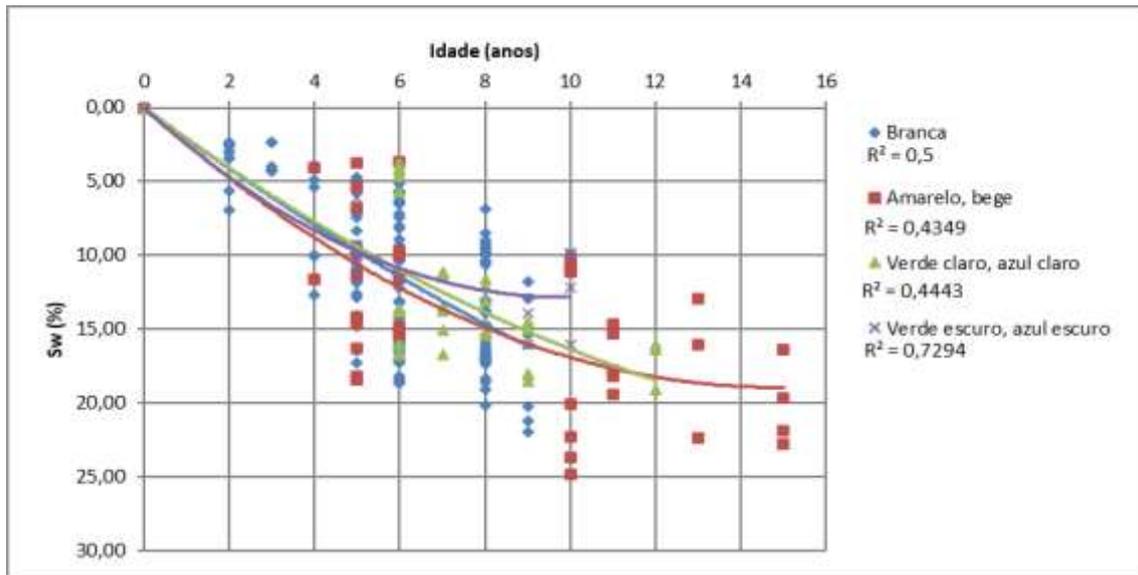
Fonte: Oliveira Júnior (2020).

As curvas apresentaram uma boa correlação. O potencial de degradação cresceu na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. As fachadas de orientação sul e leste foram as mais degradadas em função da orientação predominante dos ventos, sudeste, que consequentemente é a orientação da chuva dirigida. Além disso, na localização do Recife, Hemisfério Sul, as fachadas de orientação sul só recebem incidência de raios solares durante 3 meses do ano, estando sombreadas durante os outros 9 meses, incluso neste período o inverno. Isto favorece a manutenção de um ambiente sempre úmido, o que propicia a proliferação de microrganismos que provocam o manchamento das fachadas, e consequentemente uma maior degradação. Esta orientação da incidência dos raios solares também é responsável pela menor degradação das fachadas norte.

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

A Figura 6 mostra as curvas de degradação ao longo do tempo de acordo com a cor do revestimento.

Figura 6. Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da cor.

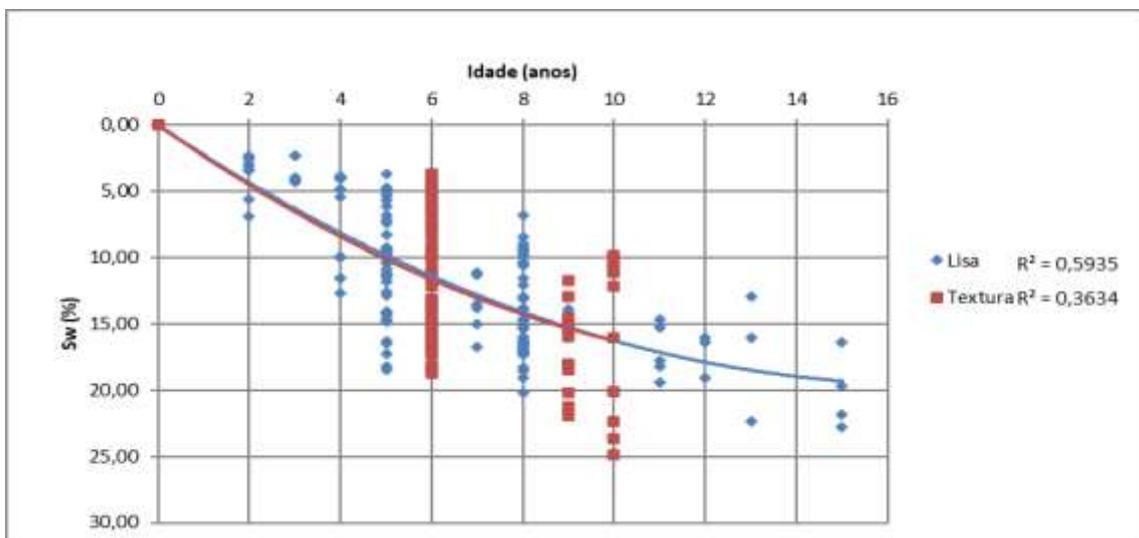


Fonte: Oliveira Júnior (2020).

A análise das curvas de degradação de acordo com a cor do revestimento (Fig. 6) não permite estabelecer padrões de degradações bem distintos. Chai (2011), analisando estas 4 categorias, também obteve resultados inconclusivos, com as curvas se cruzando e se sobrepondo na maioria de sua extensão. Contudo, percebe-se uma tendência de menor degradação para as cores escuras em relação às claras. Durante as inspeções visuais, observou-se que as cores claras são mais susceptíveis ao manchamento e acúmulo de sujidades, enquanto as cores mais escuras são mais susceptíveis às alterações cromáticas. Isto confirma que, apesar da cor dos materiais não ser uma propriedade que influa diretamente no processo de formação das manchas, a intensidade com que se percebem as manchas é diretamente proporcional ao contraste da cor e tonalidade entre os materiais de revestimento e o manchamento, como observado por Poyastro (2011).

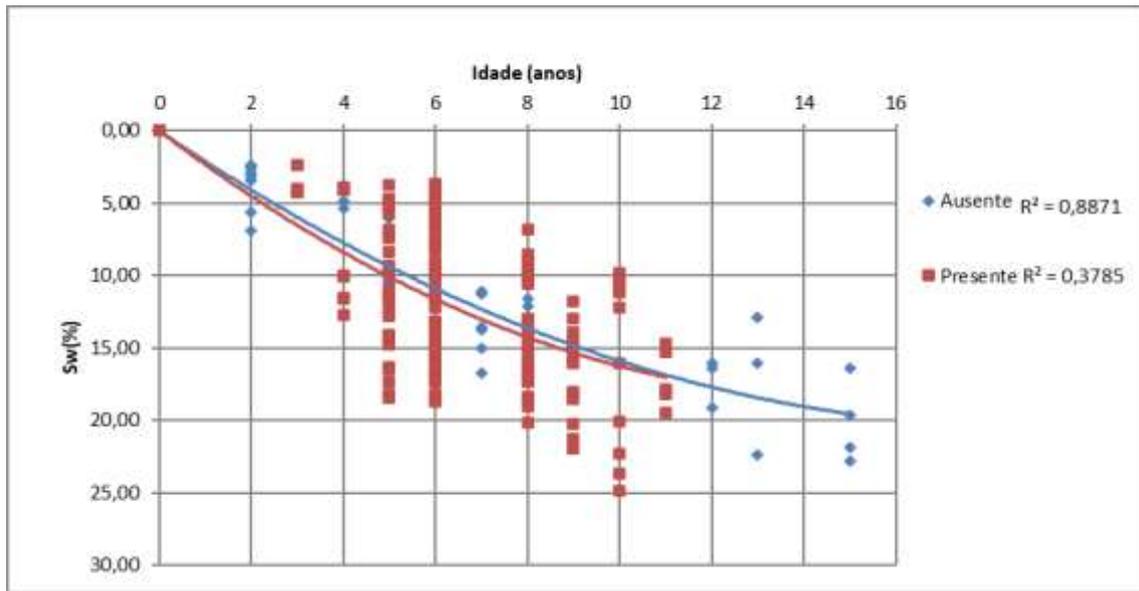
As Figuras 7 e 8 mostram o padrão de degradação dos revestimentos de acordo com a textura e de acordo com a presença ou ausência de detalhes construtivos, respectivamente.

Figura 7. Curvas de degradação das fachadas analisadas em função da textura.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Figura 8. Curvas de degradação das fachadas em função da presença de detalhes construtivos.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

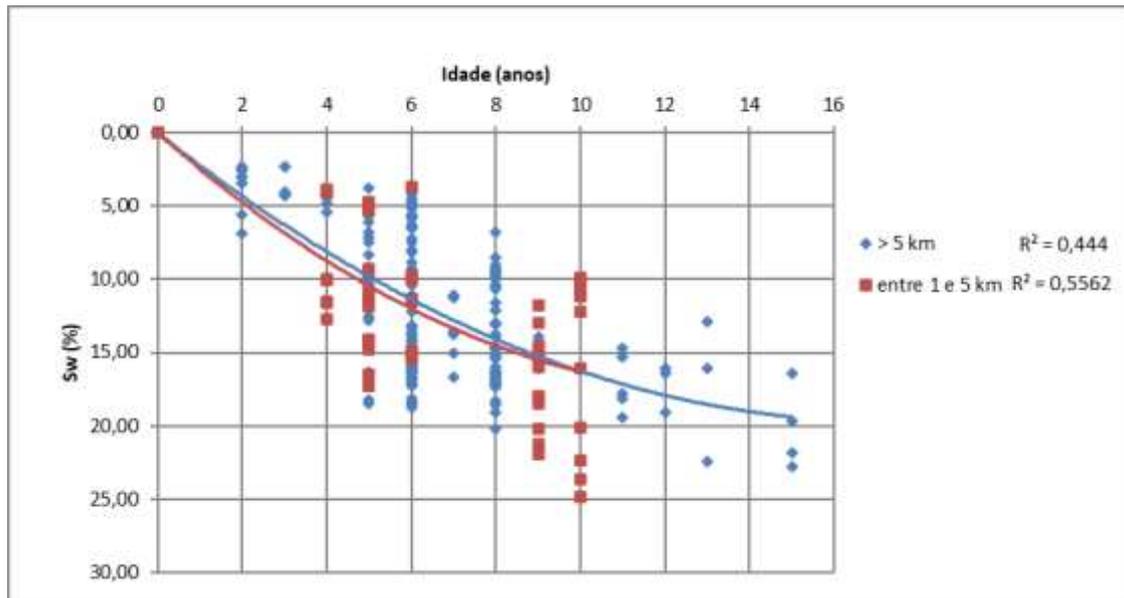
As curvas de degradação em função das fachadas com acabamento em textura apresentaram uma baixa correlação (0,36). Além disto, as curvas se sobrepuseram, não sendo possível distinguir os padrões de degradação. Com relação aos detalhes construtivos, com relação à presença ou ausência de frisos, não foi possível observar distinção clara entre os padrões de degradação. A curva das amostras que possuíam frisos apresentou uma baixa correlação (0,38) e as curvas se cruzaram próximo aos 11 anos. Apesar de inúmeros trabalhos discorrerem sobre a importância dos detalhes construtivos (Breitbach, 2009; Briffet, 1991; Perez, 1988; Petrucci, 2000; Poyastro, 2011), uma possível distinção entre os casos com e sem detalhes construtivos não foi observada provavelmente por só terem sido analisados os frisos, já que existem vários detalhes construtivos como pingadeiras, peitoris, beirais, rebaixos e saliências.

4.2.2 Análise da evolução da degradação em função dos fatores extrínsecos

Os fatores extrínsecos considerados nesta pesquisa foram: distância do mar e proximidade de fontes poluentes.

A Figura 9 mostra o padrão de degradação dos revestimentos de acordo com a distância do mar.

Figura 9. Curvas de degradação das fachadas em função da distância do mar.



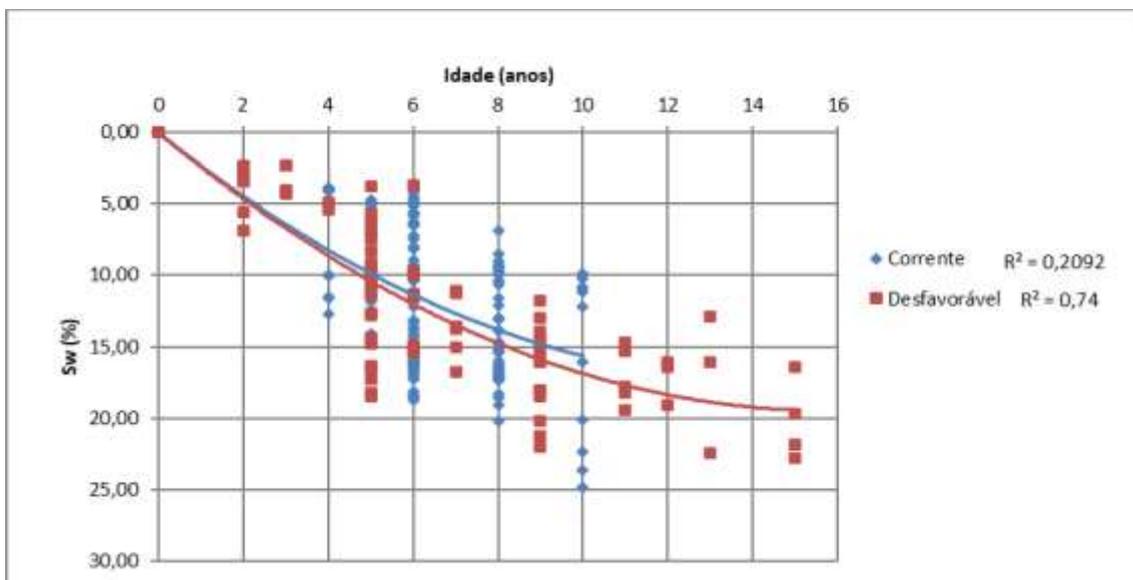
Fonte: Oliveira Júnior (2020).

As curvas de degradação apresentaram coeficientes de correlação moderados, sendo observada uma leve tendência de menor degradação para amostras situadas a mais de 5 km do mar em relação às situadas entre 1 e 5 km. Este resultado está em acordo com o esperado (Petrucci, 2000; Rivas et al., 2010; Sabbioni et al., 2001; Soroka & Carmel, 1987; Urosevic et al., 2010), pois quanto mais próxima do mar, mais a edificação sofrerá a influência da umidade e névoa salina.

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

A Figura 10 mostra o padrão de degradação dos revestimentos de acordo com a proximidade de fontes poluentes.

Figura 10. Curvas de degradação das fachadas em função da proximidade de fontes poluentes.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

A curva das fachadas com exposição corrente apresentou uma baixa correlação ($R^2=0,21$). Contudo, percebe-se uma tendência de maior susceptibilidade à degradação para amostras de localização desfavorável. A pequena distinção entre as curvas das duas situações pode estar relacionada ao fato de todos os edifícios estarem localizados em ambiente urbano e às condições de contorno da edificação que influenciam a ação do vento, principal veículo de transporte das partículas.

4.3 Limites de vida útil

O fim da vida útil é um limite teórico difícil de especificar. Esse limite é também chamado de nível de desempenho mínimo aceito e é um conceito relativo que varia de acordo com o tempo, local, contexto de construção e até os recursos disponíveis para trabalhos de manutenção e reparo (Gaspar, 2017, Moser, 2004).

No presente estudo, foi possível determinar a vida útil de referência do revestimento em argamassa com acabamento em pintura com base na curva de degradação global. Para tal, é necessária a determinação do limite máximo do nível de degradação aceitável (ou seja, o fim da vida útil). A Figura 11 apresenta um estudo de caso com um índice de severidade de degradação acima de 20%, que atingiu o fim da vida útil de acordo com o critério estabelecido. As manifestações patológicas já se encontram avançadas, atingindo grandes áreas das fachadas, sendo necessárias ações de manutenção para restabelecer os níveis de desempenho do sistema.

Figura 11. Exemplo de fachada com $S_w > 20\%$.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Graficamente, é possível determinar a vida útil de referência cruzando a curva de degradação média com o nível de degradação máxima aceitável. De acordo com essa abordagem, a vida útil de referência obtida foi de 15 anos. Contudo, observa-se que quando o índice de degradação atinge o valor de 10%, as fachadas, embora não tenham atingido o fim de sua vida útil do ponto de vista funcional e de durabilidade, já atingiram o fim da vida útil estética. Isto porque, nesse período, as manifestações patológicas começam a se tornar mais visíveis, afetando o conforto visual dos usuários, conforme se pode notar na Figura 12. Desta forma, seria interessante que as ações de manutenção se iniciassem nesta fase, pois teriam um custo bem menor que intervenções em estágios mais avançados de degradação.

Na análise da degradação em função dos fatores de degradação, foi possível distinguir padrões distintos de degradação apenas de acordo com a orientação das fachadas. O potencial de degradação foi crescente na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. Nos demais fatores (cor, textura, detalhes construtivos, distância do mar e proximidade de poluentes), não foi possível

distinguir claramente os padrões de degradação, pois as curvas apresentaram baixa correlação ou se cruzaram ou se sobrepuseram. Os resultados inconclusivos podem ter sido devidos ao tamanho limitado da amostra. De fato, embora a amostra compreenda 236 fachadas de 28 edifícios, a maioria tinha características semelhantes.

Além dos fatores examinados neste estudo, a degradação também é influenciada por fatores como qualidade dos materiais e da mão de obra utilizados. No entanto, não é possível coletar esse tipo de informação por inspeções visuais.

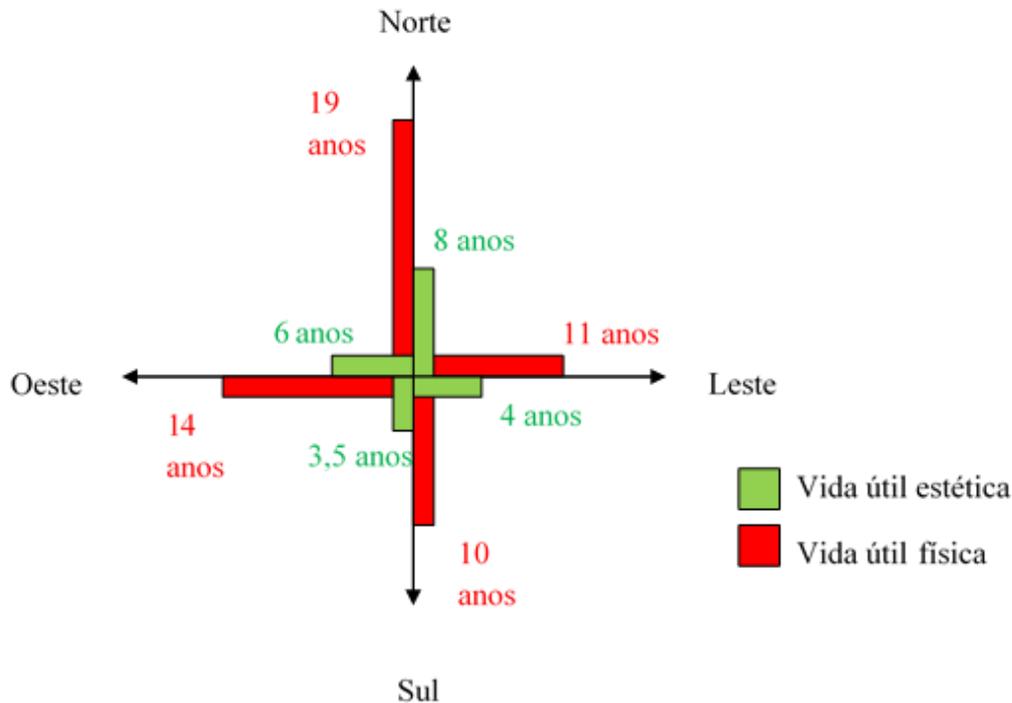
Figura 12. Exemplo de fachada com $S_w > 10\%$.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

Com base nos critérios estabelecidos com relação ao fim da vida útil física e fim da vida útil estética, e analisando graficamente as curvas de acordo com a orientação cardinal, que apresentaram padrões distintos de degradação, construiu-se a Figura 13. Intitulada de cruz da vida útil, ela resume as conclusões obtidas neste estudo.

Figura 13. Cruz da vida útil: vida útil em função da orientação cardinal.



Fonte: Oliveira Júnior (2020).

5. Conclusões

No presente estudo, a degradação de fachadas em argamassa com acabamento em pintura foi analisada. O principal objetivo foi estudar os fatores que regem a vida útil e estimar seus limites. Os resultados mostraram que a orientação cardinal é a característica mais influente na durabilidade desse sistema de revestimento. O potencial de degradação cresce na seguinte ordem: norte, oeste, leste e sul. De fato, as fachadas de orientação sul estão a maior parte do ano sombreadas e recebem os ventos e a chuva dirigida nesta região, favorecendo a proliferação de microrganismos causadores de manchas.

A vida útil de referência obtida foi de 15 anos para um índice de severidade de degradação acima de 20% (nível 3). Contudo, a partir dos 5 anos, as fachadas já apresentam manifestações patológicas visíveis, sendo importante que nesta fase, considerada o fim da vida útil estética, já se iniciem ações de manutenção preventiva.

O método proposto tem algumas limitações: depende fortemente dos dados coletados em campo com base em inspeções visuais (embora mais barato e mais rápido que os testes de laboratório) e requer uma grande amostra para ser estatisticamente significativa. As deficiências associadas com inspeções visuais podem ser abordadas por ensaios de laboratório, programas de envelhecimento acelerado, programas e inspeções mais detalhadas, obtendo-se resultados mais precisos. Da mesma forma, estudos futuros que ampliam o número de estudos de caso analisados podem melhorar tanto o modelo quanto os níveis de precisão.

Apesar das limitações reconhecidas, o modelo obtido é razoavelmente capaz de descrever os fenômenos de degradação que afetam este tipo de revestimento, sendo uma ferramenta simples que pode ser facilmente aplicada. Métodos como o proposto neste estudo, que estimam a durabilidade dos materiais de construção, também são ferramentas para ajudar a determinar o custo total da construção e definir planos de manutenção proativos que possam vir a melhorar o desempenho dos materiais.

Referências

- Barberousse, H., Ruot, B., Yépreman, C., & Boulon, G. (2007). An assessment of façade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. *Building and Environment*, 42(7), 2555-2561.
- Bauer, E., Freitas, V. P., Mustelier, N., Barreira, E., & Freitas, S. S. (2015). Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. *Structure Survey*, 31(3), 181–193.
- Boto, M. G. (2014) Plano de manutenção de fachadas em edifícios na zona costeira. Dissertação. Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.
- Breitbach, A. M. (2009). Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- Briffet, C. (1991) The Performance of external wall systems in tropical climates. *Energy Buildings*, 16, 917–924.
- Cerqueira, M. B. S. (2018). Avaliação da Degradação de Fachadas - Estudo de Caso em Salvador-BA. Dissertação. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Salvador, Bahia. 198 p.
- Chai, C. V. V. C. (2011). Previsão de vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores. Dissertação para Obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Chai, C., Brito, J., Gaspar, P. L., & Silva, A. (2014). Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(3).
- Chew, M. (2005). Defect analysis in wet areas of buildings. *Construction and Building Materials*, 19(3), 165-173.
- Dias, J. L., Silva, A., Chai, C., Gaspar, P. L., & Brito, J. (2014). Neural networks applied to service life prediction of exterior painted surfaces. *Building Research and Information*, 42(3), 371-380.
- Ferreira, T. (2004). Arquitetura e Durabilidade - Prevenção de anomalias na faixa costeira. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 244 p.
- Flores-Colen, I. S., Brito, J. A., & Freitas, V. P. (2010). Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building façades: survey of 30 experts. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 24(4), 337-344.
- Flores-Colen, I. S., Brito, J., & Freitas, V. P. (2008). Stains in facades' rendering – diagnosis and maintenance techniques' classification. *Construction and Building Materials*, 22(3), 211-221.
- Freitas, A. S. S. L. A. (2011). Avaliação do comportamento higrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à ação da chuva incidente. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Galbusera, M. M., Brito, J., & Silva, A. (2014). The importance of the quality of sampling in service life prediction. *Construction and Building Materials*, 66, 19-29.
- Gaspar, P. (2009). Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Tese (Doutorado). Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Gaspar, P. (2017). End of the service life of ceramic cladding: lessons from the girasol building in madrid. *Journal Performance Construction Facilities*, 31(2).
- Gaspar, P., & Brito, J. (2005). Mapping defect sensitivity in external mortar renders. *Construction and Building Materials*, 19(8), 571–8.
- Gaspar, P., & Brito, J. (2008) Service life estimation of cement-rendered facades. *Building Research & Information*, 36(1), 44-55.
- Gaspar, P., & Brito, J. (2011). Limit states and service life of cement renders on facades. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(10), 1396-1404.
- Lersch, I. M. (2003). Contribuição para identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação de edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Lima, M. G., & Morelli, F. (2003). Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. In: Simpósio Epusp sobre Estruturas de Concreto, V. 7 a 10 jun. 2003, São Paulo. Anais: EPUSP.
- Lopes, C. V. (2015). Efeito do intemperismo em argamassas de rejuntamento. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 216 p.
- Lourenço, P. B., Krakowiak, K. J., Fernandes, F. M., & Ramos, L. F. (2007). Failure analysis of Monastery of Jerónimos, Lisbon: how to learn from sophisticated numerical models. *Engineering Failure Analysis*, 14(2), 280-300.
- Macêdo, M. S. P. H. (2017). Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Marteinson, B., & Jonsson, B. (1999) Overall survey of buildings— performance and maintenance. In: 8th DBMC, International conference on the durability of building materials and components, Ottawa, Canada: 1634-1654.
- Moser, K. (2004). Engineering design methods for service life prediction. In: CIB W080/RILEM 175 SLM: Service life methodologies prediction of service life for buildings and components, Trondheim, Norway, 59-102.

- Mousavi, S. H., Silva, A., Brito, J., Ekhlasi, A., & Hosseini, S. B. (2017). Service life prediction of natural stone claddings with an indirect fastening system. *Journal Performance Construction Facilities*, 31(4).
- Oliveira Júnior, A. R. (2020) Estudo da degradação de fachadas em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Pacheco, C. P. (2016). Análise das manifestações patológicas nos sistemas de revestimentos externos. Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 329 p.
- Perez, A. R. (1988). Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. *Tecnologia de edificações*. São Paulo: PINI/IPT, 571-578.
- Petrucci, H. M. C. (2000). A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 120 p.
- Pires Sobrinho, C. W., et. al. (2012). Caixa Econômica Federal. (Org.). Engenharia Para Prédios-Caixaão Na Região Metropolitana Do Recife. 1 ed. Brasília: Vila Romana-Editoração e Comunicação.
- Poyastro, P. C. (2011). Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e na infiltração de água em fachadas por ação da chuva dirigida. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 180 p.
- Rivas, T., Alvarez, E., Mosquera, M. J., Alejano, L., & Taboada, J. (2010). Crystallization modifiers applied in granite desalination: the role of the stone pore structure. *Constr Build Mater* 24(5), 766-776.
- Rodrigues, M. F. S., Teixeira, J. M. C., & Cardoso, J. C. P. (2011). Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology. *Construction and Building Materials*, 25, 2741-2750.
- Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Blanco-Varela, M. T., Aguilera, J., Puertas, F., Van Balen, K., & Toumbakari, E. E. (2001). Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars. *Atmos Environ* 35(3), 539-548.
- Santos Jr., W. B. (2016). Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília. 101 p.
- Santos, D. G. (2018). Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- Serralheiro, M. I., Brito, J., & Silva, A. (2017). Methodology for service life prediction of architectural concrete facades. *Construction and Building Materials*, 133, 261-274.
- Shohet, I., & Paciuk, M. (2004). Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Constr Manag Econ* 22(10):1081–1090.
- Shohet, I., Rosenfeld, Y., Puterman, M., & Gilboa, E. (1999). Deterioration patterns for maintenance management—a methodological approach. In: 8th DBMC, International conference on the durability of building materials and components, Ottawa, Canada, 1666-1678.
- Silva, A. F. F. (2009). Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. Dissertação. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico.
- Silva, A., Brito, J., & Gaspar, P. (2011) Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding. *Autom Constr* 22, 165-174.
- Silva, A., Brito, J., & Gaspar, P. (2018). A comparative multi-criteria decision analysis of service life prediction methodologies for rendered façades. *Journal of Building Engineering*, 20, 476-487.
- Silva, M. N. B. (2014). Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF. Tese. Universidade de Brasília, Brasília. 198 p.
- Silvestre, J. D., & Brito, J. (2010). Inspection and repair of ceramic tiling within a building management system. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22 (1), 39-48.
- Soroka, I., & Carmel, D. (1987). Durability of external renderings in marine environment. *Durab Build Mater* 5(1), 61-72.
- Sousa, R. D. B. (2008). Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- Souza, J. S. (2016). Evolução da degradação de fachadas - Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília. 114 p.
- Souza, J. S., Bauer, E., Nascimento, M. L. M., Capuzzo, V. M. S., & Zanoni, V. A. G. (2016). Study of damage distribution and intensity in regions of the facade. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1(1), 1-9.
- Souza, J., Silva, A., Brito, J., & Bauer, E. (2018). Application of a graphical method to predict the service life of adhesive ceramic external wall claddings in the city of Brasília, Brazil. *Journal of Building Engineering*, 19, 1-13.
- Urosevic, M., Sebastian-Pardo, E., & Cardell, C. (2010). Rough and polished travertine building stone decay evaluated by a marine aerosol ageing test. *Constr Build Mater* 24(8), 1438-1448.
- Ximenes, S., Magos, M., Brito, J., Gaspar, P., & Silva, A. (2015) Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls. *Materials and Structures*, 48, 2235-2249.