Revista Perquirere, vol. 23, n. 2: 64-82, 2026
© Centro Universitário de Patos de Minas
https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere

Análise do desempenho de fachadas com revestimento cerâmico no ambiente urbano sob a ação de agentes climáticos

Performance analysis of ceramic-tiled facades in the urban environment under the action of climatic agentes

DANIEL DE OLIVEIRA MOTA
Discente de Engenharia Civil (UNIPAM)
danielomota@unipam.edu.br

EDUARDO MATEUS DA SILVA OLIVEIRA
Discente de Engenharia Civil (UNIPAM)
eduardomateusso@unipam.edu.br

DAIANE TEODORO DE ANDRADE REIS
Professora orientadora (UNIPAM)
daianeteodoro@unipam.edu.br

Resumo: Este estudo analisa a influência dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas com revestimento cerâmico em edificações localizadas na cidade de Patos de Minas (MG). A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica e investigação de campo, analisando três edificações com características construtivas semelhantes e diferentes orientações solares. Foram identificadas manifestações patológicas como eflorescência, falhas de rejunte, fissuras e descolamentos. Também foram avaliadas variáveis climáticas, como temperatura, radiação solar e precipitação, além do comportamento higrotérmico das fachadas por meio de simulação computacional. Os resultados indicaram que fatores como orientação solar, absortância do revestimento, idade da edificação e condições climáticas influenciam diretamente o processo de degradação das fachadas cerâmicas, contribuindo para o aprimoramento das práticas construtivas e das estratégias de manutenção.
Palavras-chave: revestimento cerâmico; agentes higrotérmicos; patologia das construções.

Abstract: This study analyzes the influence of hygrothermal agents on the degradation of ceramic-tiled facades in buildings located in the city of Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil. The research was conducted through a literature review and field investigation, analyzing three buildings with similar construction characteristics and different solar orientations. Pathological manifestations such as efflorescence, grout failures, cracks, and detachment were identified. Climatic variables, including temperature, solar radiation, and precipitation, were also evaluated, as well as the hygrothermal behavior of the facades through computational simulation. The results indicated that factors such as solar orientation, coating absorptance, building age, and climatic conditions directly influence the degradation process of ceramic facades, contributing to the improvement of construction practices and maintenance strategies.
Keywords: ceramic tile cladding; hygrothermal agents; building pathology.

1 INTRODUÇÃO

Apresentando um valor social fundamental, as edificações são um suporte físico para realização direta ou indireta de todas as atividades produtivas. Diferentemente de muitos outros produtos, as edificações devem atender aos usuários por um longo período, apresentando condições adequadas de uso, resistindo a agentes ambientais e de uso que alteram suas propriedades técnicas iniciais (ABNT NBR 5674:2012).

O processo de degradação das edificações resulta da ação combinada de fatores, como condições de uso, ausência de manutenção e atuação de agentes físicos, químicos e biológicos, que contribuem para o surgimento de manifestações patológicas e influenciam a durabilidade dos sistemas construtivos (Bauer, 2005). Entre esses fatores destacam-se os agentes higrotérmicos, associados às variações de temperatura e à presença de umidade, responsáveis por processos como dilatação dos materiais, movimentação de umidade e cristalização de sais nos revestimentos (Neville; Brooks, 2013). A análise desses fenômenos em edificações reais é complexa, pois depende das características construtivas e das condições ambientais locais; entretanto, o uso de simulações computacionais tem permitido avaliar o comportamento higrotérmico das fachadas e a influência de variáveis como radiação solar, temperatura e umidade na degradação dos sistemas de revestimento (Andrade, 2022).

Esta pesquisa teve como objetivo analisar o impacto dos agentes higrotérmicos, especialmente chuva dirigida e temperatura, na degradação de fachadas com revestimento cerâmico em edificações da cidade de Patos de Minas, por meio da análise de três edificações com tipologias construtivas semelhantes localizadas em diferentes zonas da cidade, considerando a influência das condições climáticas e o desempenho dos materiais ao longo de um ano climatológico típico. Buscando alcançar o objetivo geral, foram cumpridos os seguintes objetivos específicos: selecionar três edificações em zonas diferentes na cidade de Patos de Minas; realizar a inspeção das edificações aplicando o Método de Mensuração da Degradação (MMD) e calcular o Fator Geral de Danos (FGD); identificar as principais patologias observadas nas fachadas, como fissuras, descolamento de revestimentos, manchas; avaliar a influência dos agentes climáticos no processo de degradação das fachadas ao longo de um ano climatológico.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 FACHADAS CERÂMICAS

A utilização de peças cerâmicas em fachadas ocorre principalmente pela sua resistência frente aos agentes de degradação, como a chuva e a temperatura. Porém, mesmo que mais resistente que outros revestimentos, como a pintura, as fachadas cerâmicas se degradam e devem receber as devidas manutenções para garantir seu desempenho e prolongar sua vida útil. Para compreender seu processo de degradação, é importante conhecer sua constituição para compreender quais tensões são importantes em seu processo de degradação. Os revestimentos cerâmicos são constituídos de várias camadas com diferentes materiais interligados, portanto qualquer deformação em uma

camada ocasionará tensões no conjunto, variando de acordo com as características de cada camada (Fiorito, 2009).

2.2 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS À AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS CERÂMICAS

No contexto da degradação de fachadas cerâmicas, diversas normas técnicas estabelecem critérios fundamentais para garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança dos sistemas de revestimento utilizados nas edificações. A ABNT NBR 15575 (2013), que trata do desempenho de edificações habitacionais, define requisitos mínimos relacionados ao desempenho térmico, estrutural e à durabilidade dos elementos construtivos. No caso das fachadas, a norma exige que os sistemas de vedação apresentem estanqueidade à água, resistência às variações térmicas e desempenho adequado ao longo da vida útil de projeto.

De forma complementar, a ABNT NBR 13755 (2017) estabelece diretrizes para a execução de revestimentos cerâmicos com argamassa colante, abordando aspectos como assentamento das placas, espaçamento das juntas e aplicação de rejuntes, procedimentos essenciais para evitar patologias como infiltrações, fissuras e descolamentos.

Além disso, a ABNT NBR ISSO 10545 (2020) define os requisitos técnicos das placas cerâmicas, incluindo propriedades como absorção de água, resistência ao impacto, abrasão e flexão, características fundamentais para o bom desempenho do material frente aos agentes climáticos. A série NBR ISSO 10545-7 (2017) complementa esses requisitos ao apresentar os métodos de ensaio utilizados para avaliar as propriedades das placas cerâmicas, contribuindo para o controle tecnológico e para a verificação da qualidade dos materiais utilizados nas fachadas.

2.3 INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR E EXPOSIÇÃO

A orientação solar e o grau de exposição das fachadas influenciam diretamente o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, pois a intensidade da radiação solar, associada à ação dos ventos e das chuvas, afeta os processos de degradação dos materiais (Bauer, 2005). Em regiões de clima tropical, fachadas orientadas para norte e oeste recebem maior incidência de radiação ao longo do dia, provocando ciclos repetitivos de aquecimento e resfriamento que geram dilatações e retrações térmicas capazes de causar fissuração, perda de aderência e destacamento das placas cerâmicas ao longo do tempo (Souza; Ripper, 1998). Além disso, a radiação ultravioleta contribui para a degradação dos rejuntes, tornando-os mais frágeis e permeáveis, o que facilita a penetração da água da chuva e intensifica os processos de deterioração (Lima; Sabbatini, 2001). Já fachadas orientadas para sul, apesar de receberem menor radiação solar direta, tendem a reter mais umidade devido à menor taxa de evaporação, favorecendo o aparecimento de manchas, eflorescências e biodeterioração (Lichtenstein, 1985).

2.4 AÇÃO DA CHUVA DIRIGIDA E DA UMIDADE

A chuva dirigida é um dos principais agentes de degradação em revestimentos cerâmicos de fachada, pois resulta da ação combinada entre precipitação e vento, aumentando a pressão da água sobre a superfície e favorecendo a penetração de umidade nas camadas do sistema (Lima; Sabbatini, 2001). Em condições de elevada pluviosidade, esse processo pode reduzir a aderência entre a placa cerâmica e a argamassa colante, contribuindo para manifestações patológicas como eflorescências, manchas e destacamentos (Souza; Ripper, 1998). Além disso, a repetição dos ciclos de molhagem e secagem, associada às variações térmicas, intensifica as movimentações higroscópicas dos materiais, favorecendo o surgimento de microfissuras e falhas de aderência ao longo do tempo (Lichtenstein, 1985; Bauer, 2005). Para minimizar esses efeitos, recomenda-se a adoção de soluções construtivas adequadas, como juntas de movimentação bem dimensionadas, rejuntes com baixa permeabilidade e argamassas colantes de alto desempenho (Lima; Sabbatini, 2001).

2.5 DURABILIDADE, DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL

Segundo ISSO 15686-1 (2011), parte do projeto de uma edificação é o planejamento de sua vida útil. Busca-se garantir que a vida útil de uma edificação supere sua vida útil de projeto mínima. É necessário avaliar o ciclo de vida da construção e seu impacto ambiental, comparando diferentes opções construtivas. Deve-se garantir que a edificação mantenha seu desempenho em uso, sendo funcional para o que foi projetada.

Dessa forma as fachadas devem ser estudadas detalhadamente para identificação das anomalias e principalmente das pré-patologias, as quais nos permitem identificar importantes problemas subjacentes. Mesmo que uma anomalia não se mostre crítica para o desempenho, deve-se investigar sua origem. É notório que os processos de iniciação e propagação das anomalias ocorrem de maneira singular, tornando-se necessário conhecer e compreender os fatores e agentes de degradação.

2.6 DESPLACAMENTOS

O desplacamento corresponde ao destacamento parcial ou total das placas cerâmicas da fachada, sendo uma das manifestações patológicas mais críticas em termos de segurança e durabilidade. Esse fenômeno pode estar associado a falhas na execução do assentamento, uso inadequado de argamassa, ausência da técnica de dupla colagem e espessura incorreta da camada de colagem (Sabbatini, 2010). Além disso, a exposição a agentes climáticos, como variações de temperatura, ciclos de umedecimento e de secagem e ação da chuva dirigida, intensifica as tensões entre a placa cerâmica e o substrato, favorecendo a perda de aderência (Silva; Medeiros, 2015). A ausência de juntas de movimentação e o uso de suportes ainda em processo de cura também podem aumentar a ocorrência dessa patologia, podendo comprometer o desempenho do revestimento e representar riscos à segurança (Bucher; Nakakura, 1997).

2.7 EFLORESCÊNCIA

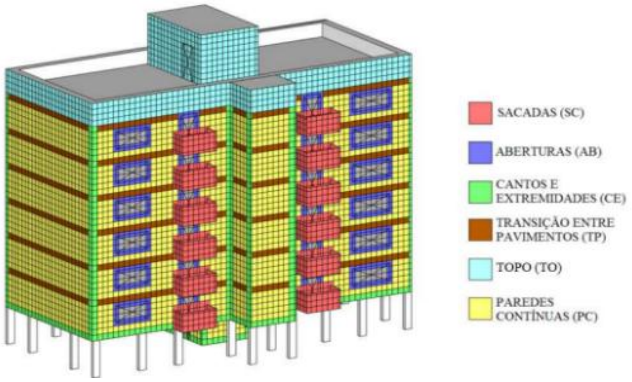
A eflorescência é caracterizada pelo surgimento de manchas brancas ou cristalizações na superfície do revestimento cerâmico, resultante da migração de sais solúveis presentes na argamassa, na cerâmica ou no substrato. Helene (2003) explica que a presença de água é essencial para que os sais migrem por capilaridade até a superfície, onde se cristalizam após evaporação. Esse processo não apenas compromete a estética, mas também indica problemas de umidade e falhas de estanqueidade no sistema de revestimento.

A eflorescência é frequentemente observada em áreas próximas a juntas falhas ou em fachadas expostas à chuva dirigida. A frequência do fenômeno está relacionada à porosidade da argamassa, à concentração de sais e à disponibilidade de água. Além disso, a migração contínua de sais pode fragilizar a argamassa de assentamento, provocar microfissuras e, em longo prazo, favorecer desplacamentos ou outras manifestações patológicas. Técnicas preventivas, como a aplicação de hidrofugantes e a seleção de argamassas com baixo teor de sais, podem reduzir significativamente a ocorrência da eflorescência.

2.8 MENSURAÇÃO DA DEGRADAÇÃO (MMD)

Em conformidade com Bauer *et al.* (2020), o método de mensuração da degradação (MMD) estuda as anomalias e as regiões degradadas. Para padronização, é realizada a captura fotográfica e ortogonalização de imagens digitais das fachadas, feito uma malha quadriculada em escala de 0,50 cm por 0,50 cm para que as anomalias sejam definidas e quantificadas em escala para cada amostra. Realiza-se também a divisão da fachada em zonas como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Mapeamento de zonas de fachadas



Fonte: Pinheiro, 2016.

2.9 FATOR GERAL DE DANOS (FGD)

O Fator Geral de Danos (FGD) é calculado com base na equação 1, que leva em consideração a extensão dos danos visíveis, a gravidade de cada patologia e a área total da fachada. Essa fórmula pondera a área afetada e a gravidade de cada tipo de dano. Por

exemplo, se um dano afeta uma grande área, mas sua severidade é baixa, ele terá menos impacto no FGD total do que um dano severo que afeta uma pequena área (Bauer *et al.* 2020).

$$FGD = \sum[\frac{An * Kn * Kc,n]}{A * k} \quad (1)$$

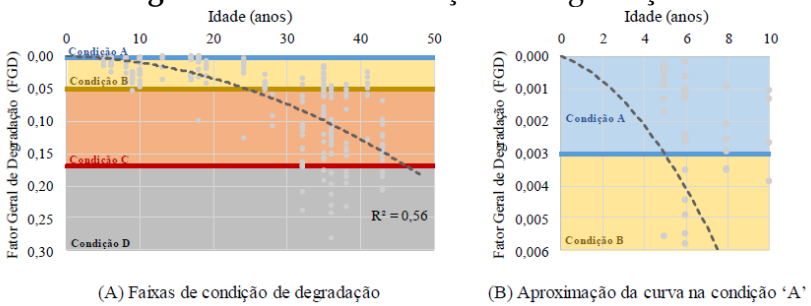
- FGD – Fator Geral de Danos (%);
- An – Área de uma fachada afetada por n tipos de anomalias (m²),
- kn– Nível de condição de n anomalias (de 0,00 a 4,00),
- k – Constante, equivalente ao nível da pior condição (14,00),
- kc,n – Importância relativa das anomalias,
- A – Área da amostra de fachada (m²),
- n – (n=1 - descolamento cerâmico, n=2 - falha nas juntas, n=3 - fissuras, n=4 - manchas).

As curvas de degradação geradas a partir do FGD se tornam mais expressivas e acentuadas em amostras com mais de 30 anos. Ao longo do tempo, as manifestações patológicas se associam, como é o caso das fissuras, que permitem o ingresso de água e outros agentes no sistema, favorecendo processos como o descolamento cerâmico e eflorescências (Bauer; Silva, 2016). No estudo da degradação de revestimentos cerâmicos em fachadas, as principais patologias são classificadas, segundo Andrade (2022, p. 18), como:

Descolamento: Todo desprendimento de peça cerâmica independente da causa ou modo de ocorrência; **Fissuração:** Fissuras no revestimento cerâmico independente da sua manifestação e origem; **Falha nas juntas:** Anomalias observadas nas juntas como fissuras ou falhas no selante; **Manchas:** Manchas na superfície de qualquer natureza, como, por exemplo, eflorescências."

Souza (2019) analisou 307 amostras de fachadas em Brasília, com objetivo de propor modelos de estimativa de vida útil capazes de ponderar sobre a influência dos fatores condicionantes de degradação de revestimentos cerâmicos de fachadas. A Figura 2 mostra as faixas de condição de degradação em função do valor do FGD determinadas pela autora.

Figura 2: Faixas de condição de degradação



(A) Faixas de condição de degradação (B) Aproximação da curva na condição 'A'

Fonte: Souza, 2019.

Nota-se que a condição A, considerada como uma degradação leve, apresenta valores de FGD inferiores a 0,003. A condição B, possivelmente uma degradação pontual,

apresenta valores de FGD entre 0,003 e 0,05. Já a condição C, ultrapassa o limite aceitável de degradação estando o FGD entre 0,05 e 0,17. As degradações generalizadas são classificadas como Condição D, apresentando um FGD superior a 0,17. Considera-se como limite da vida útil o FGD de 0,05. A partir da condição C, o revestimento não cumpre mais a função para qual foi projetado; neste momento as ações de manutenção devem ser iniciadas (Souza 2019).

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como bibliográfica e de campo, com aplicação de estudo de caso em edificações localizadas na cidade de Patos de Minas (MG). A etapa bibliográfica baseou-se na análise de normas técnicas, artigos científicos, livros e publicações acadêmicas relacionados ao desempenho e à degradação de fachadas em edificações. Quanto ao tratamento dos dados, o estudo apresenta caráter descritivo e exploratório, buscando identificar e analisar as manifestações patológicas presentes nas fachadas, bem como compreender os fatores que influenciam o processo de degradação. A coleta de dados foi realizada por meio de observação sistemática, baseada na inspeção das fachadas das edificações analisadas. Em relação à abordagem metodológica, adotou-se uma perspectiva qualiquantitativa, combinando a descrição das manifestações patológicas com a quantificação das áreas degradadas. A análise dos dados envolveu a organização, tabulação, interpretação e representação das informações coletadas, possibilitando a avaliação do comportamento das fachadas frente às condições ambientais.

3.1 SELEÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

A primeira etapa do estudo envolveu a seleção das edificações a serem analisadas, com anuência dos proprietários e/ou administradores das edificações para a realização da pesquisa, a qual se limitou a fins unicamente acadêmicos. As edificações analisadas estão localizadas em diferentes zonas urbanas da cidade de Patos de Minas (MG). O Edifício A situa-se na região central, na Rua Vinte e Quatro de Maio, no bairro Centro. O Edifício B localiza-se na Rua Araguari, no bairro Rosário. O Edifício C encontra-se na Rua Petúnias, no bairro Jardim Centro.

As edificações selecionadas atenderam a dois critérios principais: tipologia construtiva semelhante e altura mínima. Quanto à tipologia, todas apresentavam estrutura de concreto armado e fachadas com revestimento cerâmico. Em relação à altura, foram selecionados edifícios com, no mínimo, três pavimentos, a fim de possibilitar a análise de diferentes níveis de exposição climática, especialmente entre as partes inferiores e superiores das fachadas.

3.2 INSPEÇÃO

O processo de aquisição de dados foi executado *in loco*, por meio de inspeção visual direta e registro fotográfico sistemático. A fase de análise procedeu-se posteriormente, com base no material coletado.

A campanha de campo realizou-se mediante a visita a cada uma das três edificações selecionadas. Foi fotografada a fachada frontal de cada edificação, garantindo-se uma cobertura completa e sem omissões. Foi usado também o site shadowmap para conferir suas orientações e a incidência solar nas fachadas. Para se controlar a variável de incidência solar e sombreamento, estabeleceu-se a realização das inspeções em dias diferentes, porém sempre às 10 horas da manhã, adotando uma dupla abordagem para o registro: Registro Global: captaram-se imagens de campo aberto de toda a extensão de cada fachada, com o objetivo de documentar seu estado geral e contextualizar as patologias; Registro Específico: realizaram-se close-ups e fotos de detalhe de todas as patologias identificadas durante a inspeção, como fissuras, descolamentos, eflorescências e umidades, garantindo foco e iluminação adequados para evidenciar suas características.

3.3 CARACTERIZAÇÃO

As edificações foram caracterizadas em função da idade, número de pavimentos e localização. As fachadas foram caracterizadas em função dos seguintes parâmetros: data da última manutenção; cor do revestimento; divisão e quantidade de zonas existentes; mapeamento e quantificação das patologias pelo método MMD (Bauer *et al*. 2020).

3.4 MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Os resultados obtidos durante a inspeção, juntamente com os croquis elaborados em campo, foram posteriormente digitalizados e organizados no software AutoCAD, possibilitando a mensuração das áreas degradadas nas fachadas analisadas. Para isso, foi inserida uma malha de subdivisões regulares com dimensões de 0,50 m × 0,50 m, correspondentes a 0,25 m², o que permitiu padronizar o levantamento e comparar diferentes setores da fachada inspecionada. A partir da quantificação das áreas afetadas por cada manifestação patológica, foi realizado o cálculo do Fator Geral de Danos (FGD), indicador utilizado para sintetizar o nível global de degradação das fachadas. Esse índice considera a área afetada, a severidade e a importância relativa das anomalias, permitindo avaliar e comparar o estado de conservação das edificações analisadas.

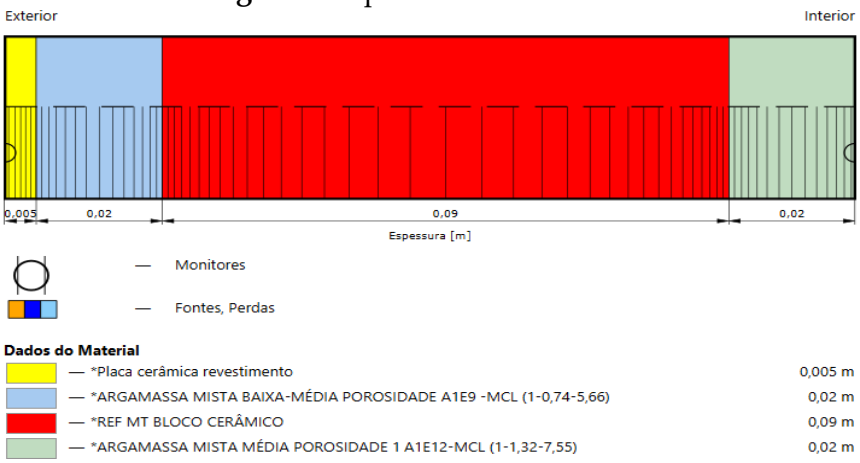
3.5 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

A análise do desempenho higrotérmico das fachadas foi realizada por meio de simulação computacional utilizando o software WUFI PRO 7.1. A simulação teve como objetivo analisar a influência dos agentes higrotérmicos (chuva dirigida, radiação solar) no desempenho das fachadas com revestimento cerâmico estudadas.

Os dados climáticos foram obtidos no formato TMY (Ano Meteorológico Típico), disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabUFSC Lawrie e Crawley, 2022), considerando a série histórica disponível para a cidade de Patos de Minas (MG). O período total de simulação foi definido entre 01 de

janeiro de 2024 e 01 de janeiro de 2026, com o primeiro ano utilizado para estabilização numérica do modelo (condições iniciais). Dessa forma, os resultados analisados correspondem ao período de 01 de janeiro de 2025 a 31 de dezembro de 2025, totalizando 8.760 horas para posterior análise. Observa-se, na Figura 3, o modelo de fachada com espessura dos revestimentos considerado na simulação.

Figura 3: Espessuras das fachadas



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

3.5.1 Propriedades higrotérmicas

Foram adotados valores de propriedades térmicas e higrométricas com base na literatura de referência, Tabela 1:

Tabela 1: Identificação dos edifícios estudados

Propriedades	Argamassa	Bloco cerâmico	Argamassa	Revestimento cerâmico
Densidade da massa aparente (kg/m)	1830	578	1860	1730
Porosidade (cm^3/cm^3)	0,284	0,486	0,2604	0,29
Calor específico (J/Kg.k)	850	850	850	868
Condutividade térmica (W/m.K)	0,8	0,158	0,8	0,4924
Fator de resistência à difusão do vapor da água (μ)	24	23	24	116
Teor de umidade de referência (kg/m^3)	26	13	17,02	14
Umidade de saturação livre (kg/m^3)	210	193	259	192
Coeficiente de absorção da água (kg/m^2)	0,089	0,09	0,089	0,097

Fonte: Souza, 2019.

3.5.2 Coeficiente de Absorção Solar (Absortância)

O coeficiente de absortância solar (α) da superfície externa foi definido com base na coloração do revestimento cerâmico observado *in loco*. A absortância representa a fração da radiação solar incidente que é absorvida pela superfície, influenciando

diretamente a temperatura superficial da fachada. Os valores adotados seguiram a classificação proposta por Dorneles e Roriz (2008), que relacionam tonalidade superficial com intervalos típicos de absortância solar.

4 RESULTADOS

Nesta etapa do trabalho, foram analisados os resultados obtidos, bem como a distribuição das manifestações patológicas em diferentes regiões das fachadas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO

A Tabela 2 apresenta a caracterização inicial das edificações.

Tabela 2: Identificação dos edifícios estudados

	Edifício A	Edifício B	Edifício C
Idade	14 anos	10 anos	32 anos
Cor da pastilha	Azul escura	Branco e vermelho	Bege
Número de pavimentos	Térreo + 5 pavimentos	Térreo + 4 pavimentos	Térreo + 3 pavimentos
Orientação rolar	Oeste	Norte	Sul
Absortância	72.9	62,0	65.1

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

4.1 1 Edifício A

Com base em inspeções *in loco* e documentação fotográfica, o Edifício A (Figura 4 a), ocupado desde 2011, mantém sua fachada original revestida com pastilhas azuis sem intervenções de manutenção significativas. A orientação da fachada principal está a oeste (Figura 4 b), conforme verificado por meio de ferramentas de georreferenciamento do Google Maps. A fachada principal estando a oeste resulta em uma incidência solar direta que se inicia por volta do meio-dia (Figura 4 c) e atinge sua intensidade máxima no final da tarde, entre 15h e 17h, como pode ser verificado com a utilização do site shadowmap.

Figura 4: Edifício A



(a) Vista da fachada | (b) Orientação cardeal das fachadas (Google Maps) | (c) Orientação solar - início da incidência (shadowmap)

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

4.1.2 Edifício B

A edificação mais nova é o Edifício B, sua fachada apresenta revestimento em pastilhas cerâmicas nas cores vermelha e branca (Figura 5 a), sem registros de intervenções de manutenção relevantes até o momento.

Figura 5: Edifício B



(a) Vista da fachada | (b) Orientação cardeal das fachadas (Google Maps) | (c) Orientação solar - início da incidência (shadowmap)

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A orientação da fachada principal foi identificada como norte (Figura 5 b) por meio de georreferenciamento no Google Maps. Nessa condição, a superfície recebe radiação solar direta a partir das 9h (Figura 5 c), prolongando-se até o pôr do sol, com maior intensidade no período da tarde, entre 13h e 17h.

4.1.3 Edifício C

O Edifício C está ocupado desde a década de 2000 e preserva sua fachada original revestida por pastilhas cerâmicas na cor bege (Figura 6 a), sem intervenções de manutenção significativas registradas até o momento.

Figura 6: Edifício C



(a) Vista da fachada (b) Orientação cardeal das fachadas (Google Maps) (c) Orientação solar - início da incidência (shadowmap)

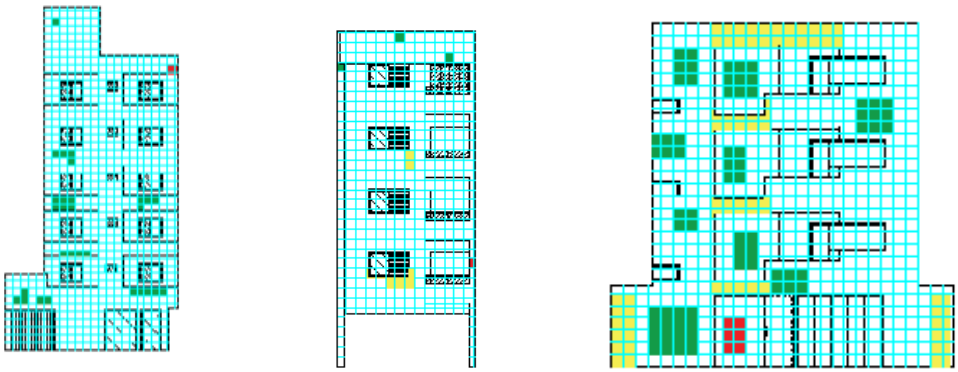
Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A fachada principal foi identificada com orientação sul (Figura 6 b), conforme verificado por meio de ferramentas de georreferenciamento do Google Maps, com menor incidência direta em comparação às orientações leste e oeste, o que contribui para uma exposição mais homogênea e menos intensa ao longo das horas de insolação.

4.2 MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Na Figura 7, pode-se observar um croqui das edificações com medidas reais elaborado no AutoCAD, já com a malha sobreposta e as áreas degradadas demarcadas.

Figura 7: Sobreposição da malha nas fachadas para quantificação dos danos



(a) Fachada A (b) Fachada B (c) Fachada C

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

A quantificação das manifestações patológicas nas fachadas foi realizada por meio do Método de Mensuração da Degradação (MMD), permitindo identificar a extensão e a distribuição espacial dos danos nas três edificações analisadas. A Tabela 3 mostra a área em metros quadrados de qual e onde cada patologia está acontecendo.

Tabela 3: Área degradada dos edifícios (m²)

Edifício	FGD	Anomalia	PC	AB	SC	CE	TP	TO
		TT	3,25	0,00	4,00	0,75	0,00	2,50
		DC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
A	0,0081	FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		EF	3,25	0,00	4,00	0,75	0,00	1,25
		TT	2,25	4,00	0,00	1,50	0,00	2,50
		DC	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
B	0,0087	FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	1,00
		EF	2,25	0,50	0,00	0,50	0,00	1,50
		TT	13,00	4,25	7,50	7,75	2,50	1,25
		DC	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,0465	FI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		FR	5,75	0,50	3,25	7,75	1,25	0,00
		EF	5,75	3,75	4,25	0,00	1,25	1,25

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

As áreas avaliadas corresponderam a 98,50 m² no Edifício A, 83,50 m² no Edifício B e 97,25 m² no Edifício C, considerando zonas da fachada como parede contínua, aberturas, sacadas, cantos/extremidades e topo. De modo geral, observou-se predominância de eflorescência, indicando forte influência da umidade no processo de degradação das fachadas cerâmicas. No Edifício A, com orientação oeste, a eflorescência atingiu 9,25 m² (9,4%), além de 1,25 m² (1,3%) de descolamento cerâmico, sem ocorrência de falhas de rejunte ou fissuração, indicando desempenho ainda satisfatório do revestimento. A orientação oeste e a tonalidade escura do revestimento podem favorecer ciclos térmicos mais intensos no período da tarde, contribuindo para evaporação da umidade e cristalização de sais.

No Edifício B, a eflorescência totalizou 4,75 m² (5,7%), enquanto as falhas de rejunte atingiram 4,50 m² (5,4%), além de 1,0 m² (1,2%) de descolamento cerâmico, concentrado principalmente em paredes contínuas, aberturas e topo da fachada. Apesar de ser a edificação mais recente, sua orientação norte favorece maior exposição à radiação solar ao longo do dia, intensificando as variações térmicas e o desgaste das juntas. Já no Edifício C, com área analisada de 97,25 m², verificou-se maior extensão de degradação, com 18,50 m² (19,0%) de falhas de rejunte, 16,25 m² (16,7%) de eflorescência e 1,50 m² (1,5%) de descolamento cerâmico, distribuídos em praticamente todas as zonas da fachada, principalmente em paredes contínuas e cantos/extremidades, indicando estágio mais avançado de degradação possivelmente associado à maior idade da edificação e à exposição prolongada às condições climáticas. Complementarmente, os valores do Fator Geral de Danos (FGD) foram 0,0081 para o Edifício A, 0,0087 para o Edifício B e 0,0465 para o Edifício C, indicando maior nível de degradação no Edifício C. Conforme a classificação proposta por Souza (2019), os três edifícios enquadram-se na condição B (degradação pontual), embora o Edifício C esteja próximo do limite da condição C, indicando maior necessidade de manutenção.

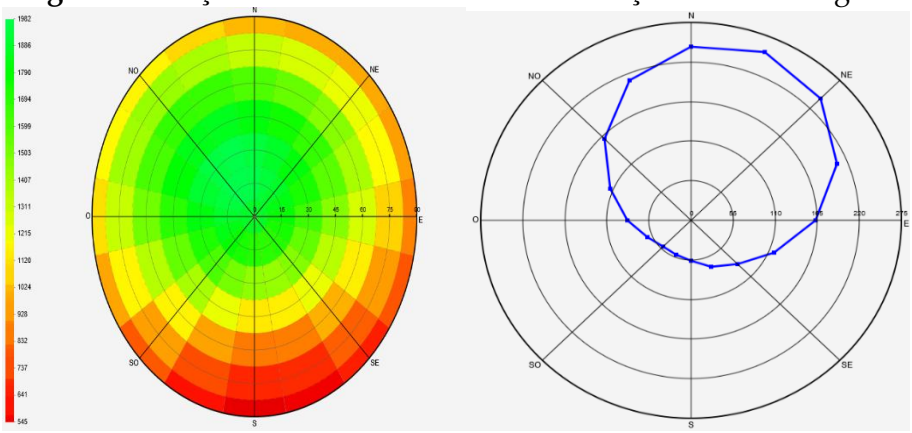
4.3 ANÁLISE CLIMÁTICA E COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DAS FACHADAS

As simulações realizadas no software WUFI PRO permitiram avaliar o comportamento transiente de calor e umidade nas fachadas ao longo do ano climatológico.

4.3.1 Orientação solar e os agentes climáticos

A análise da distribuição da radiação solar por orientação demonstrou maior incidência nas fachadas voltadas para norte e oeste, especialmente no período da tarde, quando a intensidade solar atinge valores mais elevados. Esse comportamento é particularmente relevante para o Edifício A, cuja fachada principal está orientada para oeste, recebendo radiação direta mais intensa no período vespertino, o que pode ser observado na figura 8.

Figura 8: Posições de maiores e menores insolação e chuva dirigida



(a) Radiação solar total (b) Total de chuva dirigida e sua orientação

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

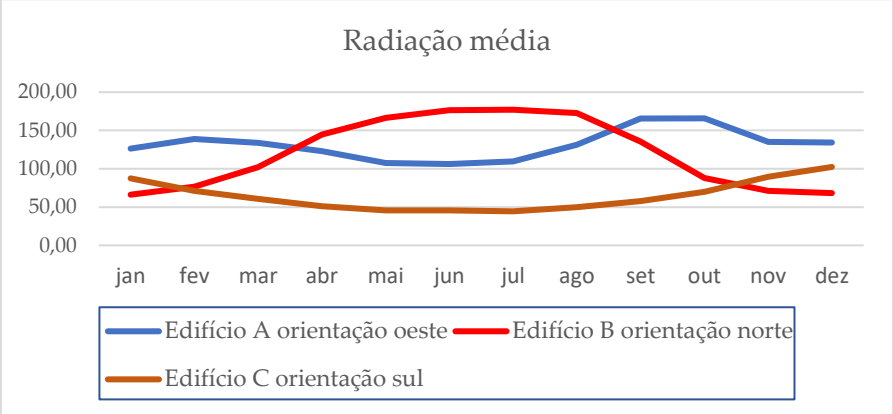
Segundo Souza e Ripper (1998), fachadas submetidas à insolação prolongada apresentam maior suscetibilidade a tensões térmicas acumuladas, sobretudo quando associadas a revestimentos com elevada capacidade de absorção de energia solar. A orientação norte, observada no Edifício B, também apresenta elevada carga térmica ao longo do dia, porém de forma mais distribuída, o que influencia a dinâmica de aquecimento e resfriamento da superfície.

4.3.2 Radiação Solar

A análise dos valores de radiação solar média mensal evidencia comportamento sazonal bem definido, com valores mais elevados concentrados no período seco, especialmente entre os meses de agosto e setembro. Esse comportamento é característico de regiões de clima tropical com estação seca pronunciada, nas quais a redução da

nebulosidade favorece maior incidência de radiação direta sobre as superfícies externas sendo notado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Radiação média incidente em cada fachada



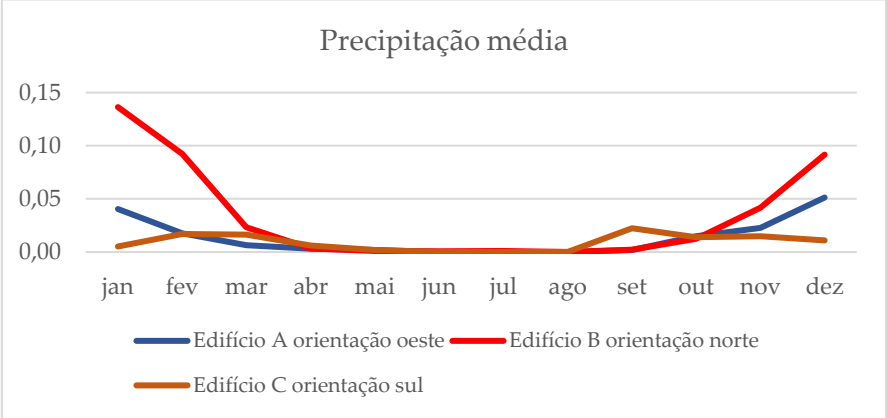
Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Observa-se que o aumento da radiação solar está diretamente associado ao crescimento da diferença entre a temperatura do ar e a temperatura superficial das fachadas, evidenciando a influência da energia solar no aquecimento das superfícies externas. Conforme Oke (1987), a radiação solar constitui o principal mecanismo de ganho térmico em superfícies expostas. Além disso, fachadas orientadas para norte e oeste tendem a receber maior carga térmica ao longo do dia, especialmente no período da tarde. Esse comportamento, observado principalmente nos edifícios analisados, favorece ciclos repetitivos de aquecimento e resfriamento que, segundo Souza e Ripper (1998), podem gerar tensões no revestimento cerâmico e contribuir para processos de degradação ao longo do tempo.

4.3.3 Chuva dirigida

Os valores de precipitação média mensal demonstram regime climático com estação chuvosa concentrada nos meses de janeiro a março, seguida por período de redução significativa das chuvas entre maio e setembro. Esse padrão sazonal caracteriza a alternância entre períodos de molhagem intensa e períodos de secagem predominantes. Esse padrão pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Precipitação média incidente em cada fachada



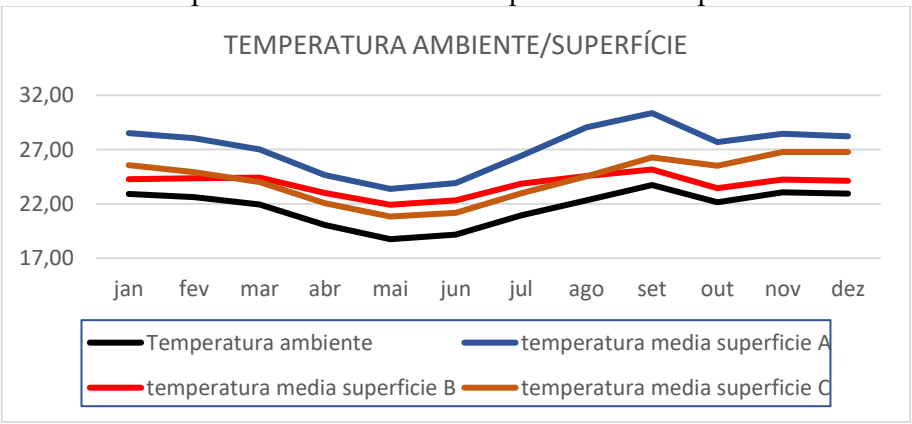
Fonte: dados da pesquisa, 2026.

O gráfico de precipitação média indica que os maiores valores ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com destaque para o Edifício B (orientação norte), que apresenta os maiores índices nesse período. O Edifício A (orientação oeste) também apresenta valores elevados no início e no final do ano, enquanto o Edifício C (orientação sul) mantém níveis de precipitação relativamente menores ao longo dos meses. Entre maio e agosto, observa-se uma redução significativa da precipitação para os três edifícios, caracterizando um período mais seco. Essa variação ao longo do ano evidencia a alternância entre períodos de maior umidade e períodos de secagem das fachadas, o que pode influenciar diretamente o comportamento higrotérmico dos revestimentos e contribuir para o desenvolvimento de manifestações patológicas associadas à presença de umidade.

4.3.4 Temperaturas do ar e da superfície

A análise dos resultados de temperatura média mensal do ar e da superfície evidenciou comportamento sazonal bem definido ao longo do ano climatológico analisado. O Gráfico 3 mostra essa comparação.

Gráfico 3: Temperatura ambiente e temperatura da superfície cerâmica



Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Observa-se que, nos três edifícios analisados, a temperatura superficial manteve-se superior à temperatura do ar ao longo de todo o ano, com maior diferença térmica nos meses de agosto e setembro. Esse comportamento evidencia a influência direta da radiação solar incidente sobre o revestimento cerâmico, promovendo o aquecimento da superfície das fachadas.

A magnitude dessa diferença térmica está relacionada não apenas à intensidade da radiação solar, mas também às características do revestimento, especialmente à absortância solar. Segundo Dorneles e Roriz (2008), superfícies de coloração mais escura apresentam maior capacidade de absorver radiação e, consequentemente, tendem a atingir temperaturas superficiais mais elevadas sob as mesmas condições climáticas.

Esse comportamento foi observado principalmente no Edifício A, revestido com pastilhas de tonalidade azul escura e orientado para oeste, que apresenta maior potencial de absorção de energia solar no período da tarde. De acordo com Oke (1987) e Bauer (2005), temperaturas superficiais mais elevadas aumentam os gradientes térmicos no sistema construtivo, favorecendo movimentações diferenciais entre os materiais e contribuindo para processos de fissuração e perda de aderência ao longo do tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o impacto dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas com revestimento cerâmico no município de Patos de Minas (MG), utilizando como instrumentos principais o Método de Mensuração da Degradação (MMD), o cálculo do Fator Geral de Danos (FGD) e simulações computacionais realizadas no software WUFI PRO 7.1. A integração entre dados de campo e modelagem higrotérmica permitiu compreender os mecanismos responsáveis pela evolução das manifestações patológicas observadas nas três edificações analisadas.

Os resultados obtidos por meio do MMD e do FGD demonstraram que a extensão das áreas degradadas tende a aumentar com o tempo de exposição, sendo o Edifício C aquele com maior comprometimento geral. A análise térmica evidenciou que o Edifício A apresentou maiores temperaturas superficiais, associadas à orientação oeste e à elevada absortância do revestimento escuro.

O Edifício B apresentou comportamento intermediário, indicando que o nível de degradação não depende exclusivamente da idade da edificação, mas também das condições de exposição. Mesmo sendo a construção mais recente entre as analisadas, já apresenta manifestações como falhas de rejunte e eflorescência, associadas à exposição solar na orientação norte e à alternância entre períodos de molhagem e secagem ao longo do ano.

A análise climática mostrou que o regime sazonal de Patos de Minas, caracterizado por período chuvoso no início do ano e fase mais seca com elevada radiação entre agosto e setembro, favorece a intensificação dos ciclos higrotérmicos. As simulações indicaram maiores amplitudes térmicas nas fachadas norte e oeste e maior permanência de umidade nas fachadas orientadas para sul, evidenciando que idade, orientação solar, absortância do revestimento e condições climáticas atuam de forma conjunta no processo de degradação. Dessa forma, concluiu-se que o desempenho das fachadas cerâmicas depende da interação entre fatores construtivos e ambientais, sendo

fundamental considerar essas variáveis no projeto e na manutenção preventiva para ampliar a vida útil das edificações.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. T. **Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higrotérmica para os edifícios de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E. **Patologia das construções**: causas, manifestações e terapias. São Paulo: PINI, 2005.

BAUER, E. *et al*. **Degradação de fachadas com revestimento cerâmico**: métodos de avaliação e modelagem. Brasília: Universidade de Brasília, 2020.

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

BAUER, E.; SILVA, M. D. N. **Degradação de fachadas com revestimento cerâmico de edifícios de Brasília – DF**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT), 2016.

BUCHER, H. R.; NAKAKURA, E. H. **Falhas em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo: PINI, 1997.

CLEMENTINO, J. M. de S. **Avaliação da degradação de fachadas**: estudo de caso em edifícios de Belém/PA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, 2018.

DORNELES, K. A.; RORIZ, M. **Influência da absortância solar de superfícies no desempenho térmico das edificações**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2008.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. 2. ed. São Paulo: PINI, 2009.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-1**: Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework. Geneva, 2011.

LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)**. 2022. Disponível em: https://climate.onebuilding.org.

LICHTENSTEIN, N. **Patologia das construções**. São Paulo: PINI, 1985.

LIMA, J. A.; SABBATINI, F. H. **Ação da chuva dirigida e sua influência no desempenho de fachadas**. São Paulo: EPUSP, 2001.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. London: Routledge, 1987.

PINHEIRO, F. R. **Análise das patologias de fachadas**: proposta de um método de avaliação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 2016.

SABBATINI, F. H. **Tecnologia de execução de revestimentos cerâmicos**. São Paulo: EPUSP, 2010.

SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2019.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SABBATINI, F. H. **Tecnologia de execução de revestimentos cerâmicos**. São Paulo: EPUSP, 2010.

SILVA, J. M.; MEDEIROS, M. H. F. **Patologia e reabilitação de revestimentos cerâmicos de fachada**. São Paulo: PINI, 2015.