XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8889

Influência da orientação geográfica no manchamento de fachadas de concreto armado

Influence of geographic orientation on staining in reinforced concrete facades

Ana Gabrielle Mariano de Oliveira
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | anagabriellle.20221@poli.ufrj.br
Assed Naked Haddad
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | assed@poli.ufrj.br
Mayara Amario
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | mayara_amario@poli.ufrj.br
Carina Mariane Stolz
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | carinastolz@poli.ufrj.br

Resumo

Este estudo analisa a influência da radiação solar no desenvolvimento de manchas em fachadas de concreto armado. A metodologia fundamenta-se em um estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro, que utiliza um veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção e captura de imagens em alta resolução. A quantificação das áreas degradadas foi realizada por meio do processamento digital de imagens e da análise de pixels, enquanto a exposição solar foi avaliada por meio da determinação de azimutes e do uso de cartas solares. Para o estudo de caso analisado, os resultados demonstram que a incidência solar atua como um agente modulador da umidade: fachadas com maior insolação (nordeste e noroeste) apresentaram menores índices de manchamento (15% a 21%). Em contrapartida, as faces sudeste e sudoeste, com ciclos de umedecimento e secagem mais lentos, pela menor incidência solar, registraram 33% e 52% de área afetada, respectivamente. O trabalho contribui para a validação de métodos de inspeção e a demonstração de que o projeto e a manutenção devem considerar a orientação das fachadas para mitigar manifestações patológicas e aumentar a durabilidade das estruturas.

Palavras-chave: Manchamento. Concreto armado. Orientação geográfica. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Abstract

This study analyzes the influence of solar radiation on the development of staining on reinforced concrete façades. The methodology is based on a case study in Rio de Janeiro, using an unmanned aerial vehicle (UAV) for inspection and high-resolution image acquisition. The quantification of degraded areas was carried out through digital image processing and pixel analysis, while solar exposure was evaluated by determining azimuths and using solar charts. The case study demonstrates results that solar incidence acts as a modulating agent of moisture: façades with higher solar exposure (northeast and northwest) presented lower staining indices (15% to 21%). In contrast, the southeast and southwest façades, with slower wetting and drying cycles due to lower solar exposure, recorded 33% and 52% of affected area, respectively. This work contributes to the validation of inspection methods and demonstrates

that design and maintenance strategies should consider façade orientation in order to mitigate pathological manifestations and increase the durability of structures.

Keywords: Solar radiation. Staining. Reinforced concrete. Geographic orientation. UAV.

INTRODUÇÃO

As condições às quais a edificação está exposta podem favorecer o surgimento de manifestações patológicas, que são as principais causadoras de degradação superficial das fachadas e afetam não apenas o desempenho funcional das edificações, mas também sua durabilidade, estética e custos de manutenção [1], [2]. Entre essas manifestações, o manchamento de superfícies externas, especialmente em fachadas, destaca-se pelos seus mecanismos de formação estarem ligados à interação entre fatores ambientais, características construtivas e propriedades dos materiais [3].

Os fatores atmosféricos que atuam sobre as edificações compreendem a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade e os poluentes atmosféricos. Esses agentes incidem continuamente sobre a edificação, variando conforme a localização geográfica, a orientação das fachadas e as condições sazonais. A variação térmica induzida pela radiação solar pode provocar dilatações e contrações nos materiais, gerando tensões internas que favorecem o aparecimento de fissuras e a perda de desempenho dos revestimentos. Além disso, a combinação entre radiação, umidade e poluentes contribui para processos físicos, químicos e biológicos associados ao manchamento das superfícies [2].

Estudos baseados em inspeções de edifícios demonstram que a incidência de manifestações patológicas não ocorre de forma homogênea nas fachadas, estando frequentemente associada à sua orientação geográfica [4]. Fachadas mais expostas à radiação solar tendem a apresentar maior ocorrência de fissuras e perda da camada de acabamento, enquanto aquelas com menor insolação apresentam maior tendência à retenção de umidade e ao surgimento de manchas. Observa-se, ainda, que a ação conjunta do vento e da chuva dirigida influencia significativamente os padrões de infiltração e de escurecimento das fachadas, indicando que a localização geográfica e a exposição ambiental desempenham papel central na distribuição dessas manifestações patológicas [5].

No que se refere especificamente ao manchamento, a literatura aponta que essa manifestação patológica pode ter origens distintas, incluindo o acúmulo de partículas de poluição atmosférica, o escoamento inadequado da água da chuva e o crescimento de microrganismos [6]. Visualmente, essas manchas são frequentemente semelhantes, o que dificulta sua diferenciação sem o auxílio de análises laboratoriais.

Pesquisas com abordagem microbiológica indicam que a orientação das fachadas influencia o tipo de microrganismo predominante no manchamento. Melo et al. [4] constataram que fachadas com maior incidência solar tendem a favorecer o desenvolvimento de organismos fototróficos, que utilizam a luz solar como fonte de energia, desde que haja disponibilidade de umidade. Por outro lado, fachadas menos expostas ao sol, com temperaturas mais baixas e ciclos de secagem mais longos,

apresentam maior propensão ao crescimento de fungos, os quais não dependem diretamente da radiação solar. Esses resultados reforçam a ideia de que a incidência solar não atua isoladamente, mas influencia a umidade da superfície que, por sua vez, potencializa as condições que levam à degradação superficial.

Ademais, a orientação das fachadas é um fator determinante no desempenho das edificações, influenciando tanto o conforto térmico quanto a demanda energética. Nesse contexto, Elguezabal et al. [7] discutem o potencial de fachadas integradas a sistemas de aquecimento e resfriamento, destacando que diferentes orientações geográficas resultam em respostas térmicas distintas conforme as condições climáticas locais. Embora o enfoque do estudo esteja voltado à eficiência energética em climas europeus, os autores reforçam o papel da incidência solar como variável fundamental na interação entre fachada e ambiente, evidenciando a necessidade de compreender seus efeitos em múltiplas escalas de desempenho.

No contexto das mudanças climáticas, Prieto et al. [8] indicam que variações nos regimes de temperatura, precipitação e radiação solar podem alterar os padrões de degradação das fachadas ao longo do tempo. Embora as projeções apontem para uma possível redução do manchamento associada à diminuição da precipitação em determinadas regiões, o aumento das temperaturas máximas e a intensificação de ondas de calor podem agravar mecanismos de degradação relacionados às tensões térmicas. Assim, a radiação solar assume papel central não apenas como agente direto de aquecimento, mas também como elemento que influencia a umidade e a evolução das manifestações patológicas.

Além da abordagem qualitativa, pesquisas como a de Torres-González et al. [9] têm avançado no desenvolvimento de métodos quantitativos para avaliação do manchamento em fachadas, especialmente por meio de técnicas de análise de imagens digitais. Essas técnicas, utilizando espaços de cor, que permitem transformar diferenças visuais de manchas em dados quantitativos analisáveis por algoritmos, tornando a avaliação mais objetiva do que a inspeção visual tradicional, como o *HSV (Hue, Saturation, Value)* e o *CIELAB*, definido pela *Commission Internationale de l'Éclairage*, como um espaço de cor em que L* representa a luminosidade, enquanto a* e b* correspondem, respectivamente, aos eixos cromáticos verde–vermelho e azul–amarelo. O *HSV* é frequentemente utilizado para segmentação e identificação de cores predominantes, enquanto o *CIELAB* é amplamente aplicado na quantificação objetiva das diferenças de cor por meio de um parâmetro, possibilitando a identificação e mensuração de manchas de forma consistente com a inspeção visual.

Paralelamente, estudos sobre materiais inovadores têm surgido como estratégia para mitigar o manchamento e a degradação superficial, como o uso de revestimentos com propriedades fotocatalíticas à base de dióxido de titânio (TiO_2) [10] [11] [12] [13] [14]. Esses materiais apresentam capacidade de decompor poluentes orgânicos sob exposição à radiação ultravioleta, reduzindo alterações cromáticas e favorecendo o efeito autolimpante das fachadas. Os resultados indicam que a combinação entre radiação solar, precipitação natural e propriedades específicas dos materiais pode contribuir para a melhoria da durabilidade estética e térmica das edificações.

Com base nessas premissas, o presente artigo objetivou analisar a influência da orientação geográfica no desenvolvimento de manchamentos em estruturas de concreto armado expostas, considerando sua relação com a orientação das fachadas e as condições ambientais locais, a partir da análise de um estudo de caso em uma edificação inacabada situada no Rio de Janeiro, utilizando o VANT como tecnologia de apoio à inspeção.

MÉTODOS

As etapas do procedimento metodológico são apresentadas de forma sequencial por meio de um fluxograma (Figura 1), de modo a facilitar a compreensão do processo adotado.

Figura 1: Fluxograma das etapas do procedimento metodológico



Fonte: O Autor (2026).

CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A edificação em estudo está localizada na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na Ilha do Fundão e situa-se aproximadamente a 22° 51’ de latitude sul e 43° 14’ de longitude oeste, inserida em um contexto urbano costeiro. A região apresenta clima tropical úmido, fortemente influenciado pela proximidade com a Baía de Guanabara, o que confere elevada umidade relativa do ar ao longo do ano.

O regime climático caracteriza-se por uma estação chuvosa concentrada principalmente entre os meses de novembro e março, com precipitações intensas e frequentes, e uma estação relativamente mais seca entre junho e agosto, embora sem a ocorrência de períodos de estiagem prolongada. As temperaturas médias permanecem elevadas durante a maior parte do ano, associadas à significativa incidência de radiação solar. A umidade relativa do ar acompanha o regime de chuvas, apresentando variações menos abruptas ao longo do ano quando comparada à precipitação, o que favorece ciclos frequentes de umedecimento e secagem das superfícies expostas [15].

AVALIAÇÃO DA INCIDÊNCIA SOLAR E ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS

Para a análise da incidência solar nas fachadas, foi obtida a projeção da edificação corretamente orientada em relação ao norte geográfico por meio do Google Earth. Em seguida, essa projeção foi reproduzida no software AutoCAD, permitindo a representação precisa da geometria do edifício com sua orientação real. A partir desse modelo, foi determinado o azimute de cada fachada em relação ao Norte, possibilitando a identificação de sua orientação geográfica. Com base nesses dados, foi utilizada a carta solar gerada no Software Analysis SOL-AR a fim de avaliar qualitativamente a incidência de radiação solar sobre as diferentes fachadas, servindo de base para a correlação entre a exposição solar e a distribuição dos manchamentos identificados nas fachadas.

INSPEÇÃO PREDIAL E QUANTIFICAÇÃO DO MANCHAMENTO

A inspeção predial das fachadas foi realizada com um VANT modelo DJI Mavic 2 Enterprise Dual, equipado com câmera RGB de 12 megapixels, capaz de gerar imagens com resolução de 4056 × 3040 pixels, empregado para a captura de imagens em alta resolução das superfícies externas da edificação. A inspeção ocorreu em condições climáticas favoráveis, sem ocorrência de precipitação, tendo sido obtidas aproximadamente 100 imagens de cada fachada. Para cada orientação, foram selecionadas imagens com enquadramento frontal, boa nitidez e ausência de interferências visuais significativas, garantindo a qualidade da análise posterior. A partir das imagens obtidas, procedeu-se à identificação das áreas com presença de manchamentos. Em seguida, realizou-se a quantificação dessas áreas por meio da análise de pixels das imagens captadas pelo VANT, adotando procedimentos semelhantes aos descritos por De Oliveira et al. [16]. Nesse processo, as imagens foram recortadas removendo todos os elementos das imagens que não correspondiam à estrutura de concreto, de modo que a análise considerasse exclusivamente a área visível de concreto armado correspondente a cada fachada, assegurando resultados coerentes na quantificação. Posteriormente, no Software de edição de imagens Photopea, foram carregadas as imagens e utilizou-se a ferramenta "Varinha Mágica", que seleciona automaticamente os pixels com cores e tonalidades semelhantes com um único clique, com base em uma tolerância ajustável. Com a função “Histograma” é apresentada a contagem dos pixels por cor. Assim, as áreas afetadas foram delimitadas e expressas em porcentagem em relação à superfície total da estrutura de concreto armado de cada fachada analisada, conforme a Equação 1, possibilitando a comparação entre diferentes orientações e a ocorrência do manchamento.

$$Pm\ (\%) = \frac{Nm}{Nt} \times 100$$

(Equação 1) Sendo:

Pm = Porcentagem da área manchada (%);

Nm = número de pixels correspondentes à área manchada;

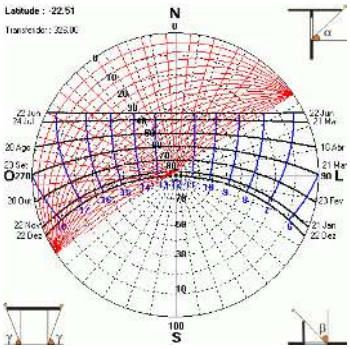
Nt = número total de pixels da estrutura de concreto da fachada.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8889

RESULTADOS E DISCUSSÕES

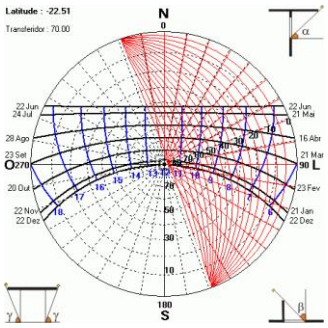
A análise quantitativa do manchamento, realizada via processamento de imagens obtidas por VANT, revela que a orientação geográfica das fachadas em relação à incidência solar parece atuar como fator condicionante na quantidade de manchas na estrutura de concreto, como pode ser observado nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. Os resultados indicam que a fachada com orientação sudoeste (SO) apresenta o maior índice de degradação, com 52% de sua estrutura de concreto manchada, seguida pela fachada sudeste (SE), com 33%. Em contraste, as fachadas voltadas para o nordeste (NE) e noroeste (NO) apresentaram os menores percentuais, sendo 15% e 21%, respectivamente.

Tabela 1: Apresentação dos resultados da fachada Noroeste

Fachada Noroeste (NO)	
Figura	Carta Solar
	
Azimute (°)	326°
Porcentagem da área manchada (%)	21%

Fonte: O Autor (2026).

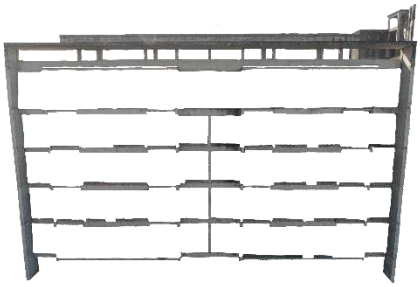
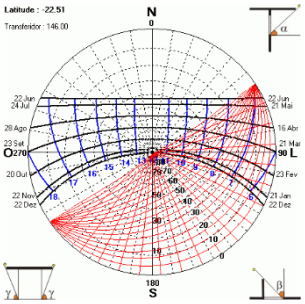
Tabela 2: Apresentação dos resultados da fachada Nordeste

Fachada Nordeste (NE)	
Figura	Carta Solar
	
Azimute (°)	70°
Porcentagem da área manchada (%)	15%

Fonte: O Autor (2026).

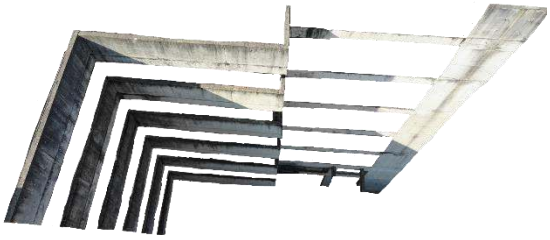
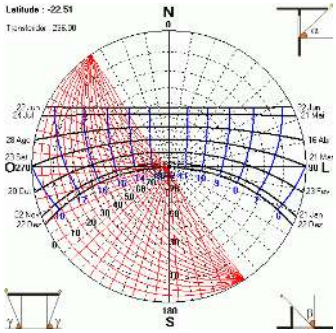
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8889

Tabela 3: Apresentação dos resultados da fachada Sudoeste

Fachada Sudeste (SE)	
Figura	Carta Solar
	
Azimute (°)	146°
Porcentagem da área manchada (%)	33%

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 4: Apresentação dos resultados da fachada Sudoeste

Fachada Sudoeste (SO)	
Figura	Carta Solar
	
Azimute (°)	236°
Porcentagem da área manchada (%)	52%

Fonte: O Autor (2026).

A interpretação desses dados, correlacionada às cartas solares para a latitude -22,51 (Rio de Janeiro), sugere que a incidência solar atua como um regulador da umidade superficial. As fachadas com orientação nordeste e noroeste, por receberem radiação solar direta de forma mais intensa e prolongada ao longo do dia e do ano, podem apresentar ciclos de secagem mais rápidos. Essa maior exposição térmica tende a reduzir o tempo de permanência da água na superfície do concreto, dificultando a fixação de poluentes e o desenvolvimento de microrganismos, o que justifica os menores índices de manchamento observados.

Por outro lado, a elevada incidência de manchas nas fachadas sudoeste e sudeste pode ser atribuída à menor insolação direta, o que tende a favorecer a retenção de umidade por períodos prolongados e um ambiente mais frio propício à proliferação de

microrganismos heterotróficos, como os fungos e o acúmulo de sujidade. Além disso, a falta de elementos de proteção, como pingadeiras e beirais na estrutura analisada, pode agravar o problema, pois a água escorre diretamente sobre o concreto e não seca rápido devido à baixa insolação.

Adicionalmente, é importante notar que, embora o sol auxilie na secagem e na redução de manchamentos, a radiação intensa nas fachadas ao norte pode agravar outros problemas, como fissuras por tensões térmicas. No entanto, especificamente para a manifestação patológica, manchamento, a baixa incidência solar nas fachadas mostra-se como um fator potencialmente determinante para a aceleração da degradação estética e estrutural observada neste estudo de caso.

Sob essa perspectiva, a influência da exposição ambiental sobre a degradação observada nas fachadas analisadas reforça a importância de procedimentos sistemáticos de inspeção predial para identificação precoce de manifestações patológicas, conforme estabelecido pela ABNT NBR 16747 [17]. Além disso, os resultados observados convergem com os princípios de durabilidade previstos na ABNT NBR 6118 [18] e na ABNT 15757 [18], que destacam a ação dos agentes ambientais como fatores relevantes no desempenho e na vida útil das estruturas de concreto armado.

CONCLUSÃO

Este estudo de caso demonstrou que pode existir uma relação entre a orientação geográfica das fachadas, a incidência solar e o grau de manchamento em estruturas de concreto. Para a edificação analisada, observou-se que as fachadas com menor exposição à radiação solar (sudeste e sudoeste) são as mais vulneráveis à degradação superficial, atingindo até 52% de área manchada, enquanto as fachadas com maior insolação (noroeste e nordeste) mantêm-se mais preservadas. Esses resultados sugerem que a orientação geográfica e os ciclos de umedecimento e secagem exercem influência no processo de degradação superficial.

Como limitação, este estudo analisou apenas uma edificação; assim, sugere-se que estudos futuros considerem um número maior de edificações, bem como o monitoramento climático, a análise de chuva dirigida, a utilização de termografia infravermelha, a medição da umidade superficial e a validação laboratorial do tipo de manchamento observado, visando validar as conclusões obtidas em outras edificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio de Janeiro, à Escola Politécnica, ao Programa de Engenharia Ambiental (PEA) e à bolsa PIBIC pelo apoio à pesquisa.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] BARRELAS, J. A. M.; SILVA, A. F. F. S. C. M.; DE BRITO, J. M. C. L.; TADEU, A. Impact of climate change on the degradation of rendered façades: expectations for a dry and hot summer temperate climate. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1101, n. 2, p. 022008, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/2/022008.

[2] SOUZA, A. L. R.; ROMEIRO, T. R. L. M.; BAUER, E. Influence of the exposure degree on the degradation of façades of buildings in Brasília—Brazil. **Buildings**, v. 14, n. 1, p. 133, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/1/133.

[3] PEREIRA, C.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Contribution of humidity to the degradation of facade claddings in current buildings**. Construction and Building Materials**, v. 189, p. 559–569, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323914487.

[4] MELO JÚNIOR, C. M.; CARASEK, H. Relationship between the deterioration of multi story buildings facades and the driving rain. **Revista de la Construcción. Journal of Construction**, v. 13, n. 1, p. 64–73, abr. 2014. Disponível em: https://teologiayvida.uc.cl/index.php/RDLC/article/view/13580/11846.

[5] MAZER, W.; SILVA, L. M. R.; LUCAS, E.; SANTOS, F. C. M. Evaluación de manifestaciones patológicas en edificios en función de la orientación geográfica. **Revista ALCONPAT**, Mérida, v. 6, n. 2, p. 145-156, ago. 2016. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352016000200145.

[6] BEYTEKIN, M. et al. Self-cleaning lightweight concrete with recycled aggregates: thermal, mechanical and color performance under UV radiation. **Sustainability**, v. 16, n. 14, p. 6056, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/6056.

[7] ELGUEZABAL, P.; ARREGI, B. An analysis of the potential of envelope-integrated solar heating and cooling technologies for reducing energy consumption in European climates. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 470–485, 2018. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.030.

[8] PRIETO, A. J. et al. Functional service life prediction of buildings under climate change conditions. **Building and Environment**, v. 182, p. 107110, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320305126.

[9] TORRES-GONZÁLEZ, A. et al. Automatic mapping of façade stains using color spaces and UAV imagery. **Remote Sensing**, v. 15, n. 11, p. 2895, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/15/11/2895.

[10] SEREMAK, W. et al. Durability assessment of low-pressure cold-sprayed TiO_2 photocatalytic coatings: Photocatalytic and mechanical stability. **Surface and Coatings Technology**, v. 497, p. 131740, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.131740.

[11] PEREIRA LESSA, F.; LIMA JR, O.; MARGALHO, É. et al. Application of nano-TiO2 and micro-ZnO on cementitious surfaces for self-cleaning façades by spray coating and dip coating: A comparative study. **Journal of Building Rehabilitation**, v. 10, n. 16, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s41024-024-00522-3.

[12] BERSCH, J. D.; FLORES-COLEN, I.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Photocatalytic TiO2-Based Coatings for Mortars on Facades: A Review of Efficiency, Durability, and

Sustainability. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 186, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13010186.

[13] QUALHARINI, E. L. et al. Self-Cleaning Mortar Façades with Addition of Anatase and Rutile Titanium Dioxide for Cool Façades. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1874, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/en16041874.

[14] CASTRO-HOYOS, A. M.; ROJAS MANZANO, M. A.; MAURY-RAMÍREZ, A. Challenges and Opportunities of Using Titanium Dioxide Photocatalysis on Cement-Based Materials. **Coatings**, v. 12, n. 968, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/coatings12070968.

[15] NEIVA, H. D. S.; DA SILVA, M. S.; CARDOSO, C. Analysis of climate behavior and land use in the city of Rio de Janeiro, RJ, Brazil. **Climate**, v. 5, n. 3, p. 52, 2017. DOI: 10.3390/cli5030052.

[16] DE OLIVEIRA, A. G. M. et al. Diagnosis and Quantification of Staining in Reinforced Concrete Structures Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In**: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION, ENERGY, ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, 2025, Singapura**. Proceedings [...] Singapura: Springer Nature Singapore, 2025. p. 623-631.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.