



Fatores que influenciam na ocorrência do biofilme vermelho em fachadas de edifícios da cidade de Salvador, BA

Factors influencing the occurrence of red biofilm on building façades in the city of Salvador, BA

Resumo

As manchas em fachadas associadas ao biofilme vermelho são manifestações patológicas com ocorrência global, que resultam da biodeterioração das fachadas, causando impactos estéticos e financeiros. Compreender as variáveis associadas a esse fenômeno é essencial para desenvolver soluções eficazes que prolonguem a vida útil das fachadas. Este estudo analisa, por meio de métodos estatísticos, a influência de fatores extrínsecos e intrínsecos na ocorrência do biofilme vermelho. Utilizou-se um modelo linear generalizado (MLG) para ajustar os dados binários e inferir sobre a influência das variáveis explicativas no surgimento das manchas. O objetivo foi avaliar o impacto dessas variáveis e validar o modelo como uma ferramenta preditiva para o problema. A análise residual, baseada no resíduo quantílico, indicou que o modelo de regressão logística apresentou um bom ajuste aos dados. Além disso, a curva ROC (Receiver Operating Characteristic) validou a eficiência do modelo como ferramenta de predição das manchas, enquanto a validação cruzada k-fold confirmou um desempenho razoável do modelo ao ser aplicado em diferentes subconjuntos de dados. As variáveis "período após a última pintura" e "número de pavimentos" mostraram resultados estatisticamente significativos no surgimento do biofilme vermelho.

Palavras-chave: Biofilme vermelho. Fachadas. Modelo de regressão logística. Curva ROC. Validação cruzada k-fold.

Abstract

Stains on facades associated with red biofilm are pathological manifestations with global occurrence, resulting from the biodeterioration of façades, causing aesthetic and financial impacts. Understanding the variables associated with this phenomenon is essential for developing effective solutions that extend the lifespan of façades. This study analyzes, through statistical methods, the influence of extrinsic and intrinsic factors on the occurrence of red biofilm. A generalized linear model (GLM) was used to fit the binary data and infer the influence of explanatory variables on the emergence of stains. The objective was to assess the impact of these variables and validate the model as a predictive tool for the problem. The residual analysis, based on the quantile residual, indicated that the logistic regression model showed a good fit to the data. Furthermore, the ROC (Receiver Operating Characteristic) curve validated the model's efficiency as a tool for predicting the stains, while the k-fold cross-validation confirmed a reasonable performance of the model when applied to different data subsets. The variables "time since last painting" and "number of floors" showed statistically significant results on the emergence of red biofilm.

Keywords: Red biofilm. Façades. Logistic regression model. ROC curve. K-Fold Cross-Validation.

¹Vanessa Gomes Gonçalves
 ¹Universidade Federal da Bahia
 Salvador - BA - Brasil
 vanessaedfgg@gmail.com

²Lizandra Catilho Fabio
 ²Universidade Federal da Bahia
 Salvador - BA - Brasil
 lizandrafabio@gmail.com

³Vinicius Almeida Coelho
 ³Universidade Federal da Bahia
 Salvador - BA - Brasil
 voelho@gmail.com

⁴Francisco Gabriel Santos Silva
 ⁴Universidade Federal da Bahia
 Salvador - BA - Brasil
 fgabriel.ufba@gmail.com

Recebido em 10/07/25
Revisado em 16/10/25
Aceito em 19/11/25

*autor correspondente

1 Introdução

As fachadas desempenham diversas funções em uma edificação, sendo diretamente influente no seu desempenho lumínico, no isolamento térmico e acústico e outros critérios de habitabilidade que afetam o conforto e segurança dos usuários, incluindo a segurança contra incêndio. A influência da estética de uma fachada envolve não apenas a satisfação dos usuários e valorização do edifício, mas também impacta diretamente na qualidade do ambiente urbano (Flores-Colen; Brito, 2010; Melo Júnior, 2010; Souza, 2016).

A degradação visual das fachadas, devido à ocorrência de manifestações patológicas no sistema de revestimento (ex. fissuração, manchamento, deslocamento etc.) traz impactos sensíveis para o desempenho do sistema, acompanhados de insatisfação dos usuários e desvalorização da edificação. Somando o fato de que a fachada é o sistema construtivo mais exposto aos agentes agressivos do ambiente, com a falta de manutenção preventiva ou tratamento corretivo em tempo hábil, tem-se uma situação propícia à ação combinada de agentes agressivos, desencadeando evoluções não lineares de danos. Tal situação pode culminar em risco direto aos usuários das edificações, quando ocorre por exemplo uma situação de deslocamento, ou indireto, por exemplo após infiltrações que promovem a proliferação de microrganismos nos ambientes internos, e implicar em custos de limpeza, manutenção e reparo progressivamente elevados que, na maioria dos casos, são inesperados na fase de elaboração dos planos de manutenção (Gaspar; Brito, 2008; Medeiros; Andrade; Helene, 2011).

A relevância das fachadas fica mais evidente ao observar que o custo médio de uma fachada pode representar um quarto do custo total da construção (Kovacic; Waltenberger; Gourlis, 2016), sendo que quanto maior a área de revestimento, maiores são os custos envolvidos nas atividades de manutenção, existindo ainda custos indiretos associados a serviços realizados no entorno das ocorrências durante a recuperação (Meira; Padaratz, 2002).

Dentre os principais fenômenos que contribuem para a degradação dos acabamentos de fachada se destacam os manchamentos, que possuem uma vastidão de tipologias e mecanismos de surgimento, e são alvo de esforços no desenvolvimento de metodologias de mapeamento e diagnóstico (Melo Júnior *et al.*, 2018; Bauer; Souza; Mota, 2021).

A biodeterioração, modificação indesejável das propriedades dos materiais por meio da atividade de organismos vivos (Di Giuseppe, 2013), é uma das principais causas de manchamentos nas fachadas. Em Salvador, Bahia, as manchas vermelhas provenientes do biofilme vermelho (*Trentepohlia sp.*) (Figura 1), podem ser facilmente observadas nas fachadas das edificações da cidade. No entanto, vale salientar que este problema não é uma ocorrência local, existindo também em outras cidades do Brasil, assim como em outros países, como Irlanda, Espanha, França, Portugal e México (Red Gable Cleaning, 2021; Morillas *et al.*, 2015; Barberousse *et al.*, 2006; Gaylarde *et al.*, 2011).

O biofilme vermelho é derivado de uma alga do gênero *Trentepohlia* (Barberousse *et al.*, 2006; Gaylarde *et al.*, 2011; Morillas *et al.*, 2015; Baptista Neto *et al.*, 2020) que contém carotenóides, substâncias responsáveis pela coloração avermelhada. As algas são organismos fototróficos, ou seja, conseguem se desenvolver sem depender de nutrientes orgânicos. Elas formam um “tapete” que favorece o estabelecimento de outros organismos, como fungos, líquens ou musgos (Barberousse, 2016).

Figura 1 - Manchas vermelha proveniente do biofilme vermelho



Fonte: acervo dos autores (2021).

Na Figura 1, observa-se claramente o "tapete" descrito por Barberousse (2016), em que grande parte da fachada está coberta por manchas vermelhas, enquanto algumas áreas apresentam tonalidades mais escuras, próximas ao preto, indicando a presença de fungos. Assim, as algas também podem favorecer um ambiente propício ao desenvolvimento de outros microrganismos, agravando a degradação das fachadas.

A presença do biofilme vermelho está associada à degradação do sistema de acabamento da fachada, em decorrência da deterioração do filme de tinta ao longo da grande extensão da superfície (Breitbach, 2009), resultando na desvalorização do imóvel e redução da vida útil do sistema, acelerando a necessidade de atividades de manutenção como a repintura e lavagem de forma imprevisível. Tal ocorrência também é de interesse para o desenvolvimento da sustentabilidade associada à construção civil, dada a necessidade de desenvolvimento e aplicação de materiais mais duráveis e menor consumo de recursos.

Diante dos impactos causados pelo biofilme vermelho no desempenho e na durabilidade dos sistemas de revestimento, torna-se fundamental investigar os fatores que contribuem para o surgimento e a intensificação desse problema. Nesse contexto, o presente estudo possui como objetivo avaliar o impacto das variáveis: distância do mar, área de cobertura vegetal, altitude, orientação geográfica da fachada mais afetada pelas manchas vermelhas, idade dos edifícios, período desde a última pintura, tempo de surgimento das manchas, número de pavimentos e tipo de acabamento da fachada; na probabilidade de ocorrência de manchas vermelhas nas fachadas de edifícios da cidade de Salvador. Para alcançar esse objetivo, foi utilizada a teoria dos Modelos Lineares Generalizados (MLGs) permitindo inferir a influência das variáveis no surgimento do dano.

Adicionalmente, foi realizada uma análise de ajuste do modelo aos dados para garantir maior confiabilidade nos resultados obtidos, além de avaliar sua eficiência como ferramenta preditiva para esse tipo de dano, utilizando a curva ROC como métrica de desempenho. Para complementar, aplicou-se o método de validação cruzada k-fold, que permitiu testar a capacidade preditiva do modelo de aprendizado de máquina e sua robustez em relação a novos dados, assegurando maior precisão e generalização dos resultados.

Ademais, esta pesquisa visa contribuir para o avanço do conhecimento na área, fornecendo subsídios para futuras pesquisas voltadas à melhoria da durabilidade das fachadas, e prevenção ou mitigação do crescimento e proliferação dos microrganismos responsáveis pelos manchamentos.

2 Referencial teórico

O presente referencial teórico aborda, de forma sucinta, o conceito de biofilme, contemplando a identificação do agente causador do biofilme vermelho na literatura, bem como, à luz dos estudos analisados, os fatores que influenciam o surgimento de biofilmes de modo geral e os achados que utilizam métodos estáticos na análise de biofilmes em fachadas.

2.1 Biofilme Vermelho

Conforme Di Giuseppe (2013), o biofilme é um ecossistema extremamente complexo que pode consistir em diversos microrganismos juntamente com uma matriz de nutrientes orgânicos e inorgânicos, deixando vestígios de diversas cores independentemente da presença de poluição na área.

Algas e fungos predominam nas fachadas, obtendo nutrientes de partículas presentes no ar, principalmente na presença de umidade, e com capacidade de metabolizar componentes constituintes das tintas (Breitbach, 2009).

Morillas *et al.* (2015) buscaram compreender a natureza do principal colonizador e a composição dos compostos nicos presentes em um biofilme vermelho existente no revestimento de arenito da Fortaleza La Galea na Espanha. Os autores identificaram predominância da Alga *Trentepohlia* e os carotenóides como principais compostos orgânicos presentes.

Barberousse *et al.* (2006), buscaram identificar parâmetros chave que podem favorecer a formação de biofilme em edifícios usando análise multivariada. Os autores coletaram amostras de biofilmes de 71 edifícios distribuídos pela França, em 18 locais diferentes, representando diversos climas, devido à grande diversidade de manchas ocorrentes, em termos de cor, distribuição na fachada e a natureza dos substratos colonizados (origem mineral ou orgânica). Foram observadas diferenças entre a colonização microbiana de superfícies em ambientes costeiros e terrestres, sendo a proximidade com a costa, região com mais ventos e com o salitre, um fator potencialmente relevante para o desenvolvimento das algas *Trentepohlia*, responsáveis pelas manchas vermelhas.

Gaylarde *et al.* (2011) relataram o aumento de ocorrências associadas ao biofilme vermelho à base de *Trentepohliales*, em revestimentos pintados de edifícios localizados na zona costeira do Brasil, México e Açores.

Baptista Neto *et al.* (2020) estudaram fachadas compostas por gnaiss e granito de cinco edifícios históricos da cidade do Rio de Janeiro, buscando compreender os mecanismos da degradação das superfícies rochosas, e detectaram algas da espécie *trentepohlia*, que conferiam ao substrato uma coloração vermelha alaranjada.

Trentepohlia é um gênero de algas verdes subaéreas da família *Trentepohliaceae*, que inclui cerca de 35 espécies (Liu *et al.*, 2012). Trata-se de organismos fotoautotróficos, que realizam a fotossíntese para a produção do próprio alimento, utilizando luz solar, água, dióxido de carbono (CO₂) e sais minerais (Taiz *et al.*, 2017). São comuns em regiões de clima tropical, subtropical e temperado, e se desenvolvem sobre diversos tipos de substratos, como cascas de árvores, madeira, pedra, paredes de concreto, folhas, entre outros (Liu *et al.*, 2012).

Na reprodução, fragmentos reprodutivos se desprendem do sistema e podem ser dispersos pelo vento (Vasconcelos *et al.*, 2016). Esse processo possibilita que os microrganismos alcancem os substratos das fachadas, onde conseguem se estabelecer e, ao encontrarem condições ambientais favoráveis, esses fragmentos dão origem a novos microrganismos.

2.2 Fatores que influenciam no surgimento do biofilme

Existem diversos fatores que influenciam no surgimento dos biofilmes, dentre os quais, destacam-se a incidência solar, temperatura, umidade e nutrientes (Pereira, 2012).

Quanto menor for a incidência da luminosidade no substrato, maior será a propensão ao desenvolvimento de microrganismos, conforme apontado por Breitbach (2009) e Silva (2007). Os estudos mostram que as fachadas com orientação sul são as que menos recebem incidência solar no Brasil, e foram as mais afetadas pelos microrganismos. A baixa luminosidade está associada à baixa evaporação da umidade superficial do revestimento, contribuindo no desenvolvimento dos microrganismos. A baixa incidência luminosa também contribui para o surgimento de manchas escuras proveniente de outras sujidades, como pigmentos escuros sintetizados por fungos que utilizam de tais compostos como mecanismo de defesa contra a ação dos raios UV (Santos, 2011).

A temperatura é um dos agentes mais agressivos associados aos revestimentos de fachadas devido às variações dimensionais dos materiais (Consoli, 2006). As fachadas são tipicamente compostas por camadas justapostas de materiais distintos, que sofrem deformações diferenciais levando ao surgimento de tensões internas e fissuração, principalmente nas interfaces de contato entre camadas. Os danos se iniciam com o comprometimento estético do acabamento da fachada, mas avançam rapidamente para falhas de estanqueidade e até mesmo de aderência, trazendo risco de deslocamento e queda de material de alturas elevadas (Bauer *et al.*, 2011). Neste sentido, a camada de tinta pode atuar na absorção de tensões superficiais e controle de anomalias advindas das movimentações térmicas, sendo fundamental um bom grau de conservação do material (Breitbach, 2009).

A maioria dos microrganismos necessitam da dissolução de substâncias em meio aquoso para seus processos metabólicos, sendo teores elevados de umidade mais propícios para seu crescimento (Breitbach, 2009). O teor de umidade da superfície é função de variações climáticas, geometria e orientação do revestimento e ação do vento, e a relação entre a água disponível e capacidade de absorção do substrato é fundamental para o desenvolvimento dos seres ali presentes. Há ainda contribuição da umidade no estado de tensões dos revestimentos expostos a ciclos higrotérmicos, dadas as propriedades variadas das camadas que se encontram em estados distintos de saturação (Zanoni; Sanchez; Bauer, 2018).

No sistema de revestimento, o substrato possui um papel complexo e de grande relevância na influência do crescimento microbiano, pois sua rugosidade e porosidade influenciam nos níveis de umidade e podem ser fonte de nutrientes, como no caso dos filmes de tintas à base de água, em que a presença de plastificantes, estabilizadores à base de amônia e de éteres de celulose, podem ser metabolizados (Shirakawa *et al.*, 2008).

É importante destacar que os biocidas, produtos adicionados às tintas e sistemas de acabamento, têm a finalidade de controlar, inativar ou eliminar o desenvolvimento de biofilmes na película seca da tinta. Com isso, visam impedir o crescimento de microrganismos e promover maior durabilidade estética e funcional ao revestimento. No entanto, conforme Di Giuseppe (2013), os biocidas apresentam uma limitação importante: sua eficácia é temporária. A perda gradual de sua ação contribui para o surgimento de biofilmes, mesmo em superfícies previamente tratadas. Ressalta-se que a identificação dos agentes biológicos presentes no biofilme

de uma determinada região contribui diretamente para o desenvolvimento de biocidas mais eficazes no controle dos microrganismos ali existentes.

2.3 Métodos estatísticos na análise do biofilme

A aplicação de métodos estatísticos na análise de manchas em fachadas ainda é um campo pouco explorado na literatura. Dentre as pesquisas identificadas, apenas dois estudos se destacaram por utilizarem métodos estatísticos para investigar como variáveis ambientais e materiais influenciam a formação de manchas e o crescimento de biofilmes em fachadas.

O estudo de Barberousse *et al.* (2006), empregou análises de variância fatorial e correspondência canônica parcial para explorar as relações entre as variáveis ambientais (como clima e substratos) e a colonização por biofilmes de algas e cianobactérias. Como resultados encontraram que os principais fatores ambientais identificados como influenciadores da colonização foram precipitação, higrometria, amplitude térmica, proximidade ao mar e vegetação. Além disso, substratos minerais mostraram ser mais frequentemente colonizados do que orgânicos. A orientação arquitetônica também desempenhou um papel relevante, com fachadas voltadas para o norte e oeste sendo mais propensas à colonização devido a maior retenção de umidade. O estudo destacou que a natureza do substrato, combinada com fatores climáticos, tem impacto direto na biodiversidade dos biofilmes.

O artigo de Qureshi *et al.* (2018), utilizou modelos de regressão múltipla e análises de variância para prever o crescimento de algas em superfícies pintadas. Dados coletados sobre temperatura, umidade, resistência à sujeira e tempo foram modelados para determinar os efeitos individuais e combinados das variáveis, bem como, validar o impacto de uma nova tinta ambientalmente amigável. A modelagem revelou que: a resistência à sujeira e a temperatura têm efeitos significativos na redução do crescimento de microrganismos fototróficos. Além disso, o modelo preditivo possibilitou simulações de diferentes cenários ambientais, auxiliando no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

O presente estudo, diferentemente dos mencionados, emprega o Modelo Linear Generalizado (MLG), aliado a metodologias como a curva ROC e o método de validação cruzada k-fold para a avaliação e validação do modelo proposto. Essas abordagens apresentam vantagens como a mensuração precisa da capacidade preditiva do modelo e a análise de sua robustez mesmo diante de variações nos dados de entrada, assegurando maior confiabilidade e consistência nos resultados obtidos.

3 Método

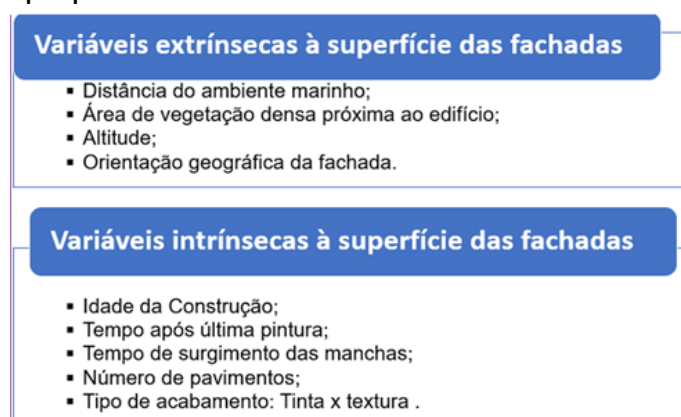
A metodologia deste artigo é dividida em 5 etapas:

- (a) desenvolvimento de um *checklist* para coleta dos dados em campo referentes às variáveis estudadas;
- (b) definição das áreas de visita para obtenção dos objetos de estudo;
- (c) definição do tamanho da amostra (n) do estudo;
- (d) coleta dos dados nos pontos de visitas; e
- (e) tratamento dos dados com aplicação do MGL e avaliação do modelo a partir do método da curva ROC e validação cruzada k-fold.

3.1 Etapa 1: desenvolvimento do *checklist*

As variáveis estudadas nesta pesquisa foram classificadas em extrínsecas e intrínsecas à superfície das fachadas (Figura 2) e para o seu estudo, foi necessário o levantamento de determinadas informações como localização, idade da edificação; tempo desde a última pintura; número de pavimentos; a presença ou não das manchas; período de surgimento; tipo de acabamento; orientação geográfica; e coleta de fotografias e vídeos das fachadas atingidas pelas manchas vermelhas.

Figura 2 - Variáveis da pesquisa



Vale salientar que a escolha das variáveis extrínsecas abrange condições ambientais, como umidade, temperatura local e incidência solar. As variáveis intrínsecas, por sua vez, foram levantadas para caracterizar cada tipo de edificação por meio de seus atributos físicos.

Utilizou-se o *Google Earth* para obtenção das métricas: distância do mar, a área da vegetação densa próximo ao edifício e sua altitude, fatores que podem estar relacionados com a umidade do local.

A obtenção da área de vegetação densa foi realizada considerando uma circunferência com raio de 1 km centrada em objeto de estudo, sendo contabilizado nesta região a área de vegetação existente. É importante observar que, na maioria dos casos, a cobertura vegetal se estendia além da fronteira delimitada e precisou ser contabilizada (Figura 3), pois uma maior área de vegetação densa resulta em maior emissão de água por evapotranspiração, resultando em maior potencial de umidade local.

Informações complementares para à pesquisa incluíram: a idade da edificação; período desde a última pintura; o número de pavimentos; a presença ou não das manchas e seu período de surgimento, conforme relato dos moradores e da administração das edificações; o tipo de acabamento, que corresponde às condições de rugosidades e porosidade da superfície, afetando o acúmulo de água e a disposição de poluentes atmosféricos; e a orientação geográfica de cada fachada, que governa diretamente a intensidade da radiação solar recebida e influencia também no recebimento de chuva dirigida, importante fonte de umidade.

As amostras deste estudo foram limitadas a edifícios residenciais e com acabamento em pintura. Os danos observados em cada fachada foram registrados por meio de fotos e vídeos e posteriormente mapeados em croquis (Figura 4), com quantificação das áreas para verificação daquelas mais atingidas com auxílio do software *Autodesk AutoCAD 2021*.

A partir das informações coletadas, foi desenvolvido o *checklist* apresentado na Figura 5.

A autorização da pesquisa foi concedida na maioria das vezes pelo síndico e/ou administração do edifício e, em relação aos complexos habitacionais, a autorização foi realizada pelos próprios moradores.

É relevante mencionar que o tipo de tinta/textura aplicada nas fachadas é um fator importante a ser estudado, à medida que os constituintes destes produtos podem atuar na inibição ou estimulação dos microrganismos, como apontado na revisão bibliográfica (item 2.1 biofilme). No entanto, a dificuldade de obtenção desses dados (ex. falta de registro por parte dos condomínios) impossibilitou a sua análise.

3.2 Etapa 2: definição das áreas de visita

Para determinação das áreas de visita e seleção dos objetos de estudo foi utilizada uma delimitação da cidade de Salvador/BA por meio do software QGIS utilizando dados geoespaciais disponíveis na base de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Foi realizado um sorteio aleatório de 100 pontos no interior do polígono (Figura 6) com o próprio software, os quais tiveram suas vizinhanças (área em um raio de 0,5 km – Figura 7) prospectadas com auxílio do *Google Earth*, assegurando que a região era acessível e com edifícios residenciais, resultando na filtragem apresentada na Tabela 1. É importante frisar que não houve limitação do número de edifícios por área de visita.

Figura 3 - Raio gerado para contabilizar a área de vegetação densa



Fonte: imagem de satélite (Google Earth, 2022).

Figura 4 - Mapeamento das manchas vermelhas



Figura 5 - Checklist

Localização	
Contato do responsável	
Idade da Construção	
Tempo após última pintura	
Tipo de tinta/textura utilizada	
Nº de pavimento	
Tipo de acabamento (Textura X Tinta)	
Possui manchas vermelhas?	
Tempo do surgimento das manchas	
Coleta de orientação geográfica, fotos/vídeos das fachads	
Fachada frontal	Fachada posterior
Fachada lateral direita	Fachada lateral esquerda

Figura 6 - Área de estudo/pontos aleatórios

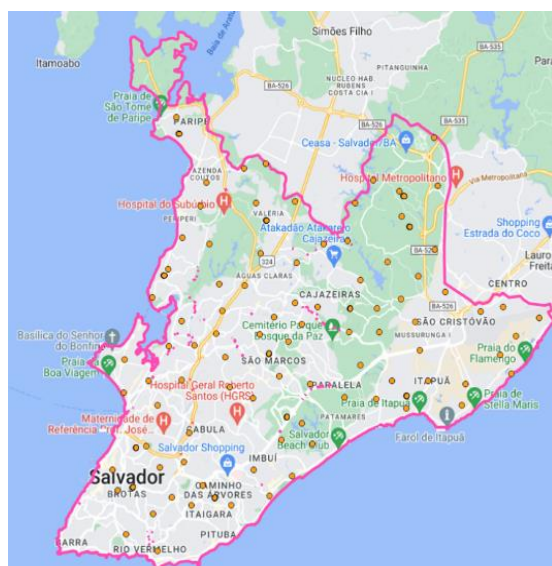


Figura 7 - Análise do entorno



Fonte: imagem de satélite (Google Earth, 2022).

Tabela 1 - Quantitativos de pontos descartados e mantidos na pesquisa

Característica do ponto	Quantidade de pontos
Não possui edifícios residenciais no entorno	51
Situado em local perigoso	6
TOTAL DE PONTOS DESCARTADO	57
Situado em locais propícios para visita	43
TOTAL DE PONTOS	100

3.3 Etapa 3: definição do tamanho da amostra (n)

O tamanho amostral foi determinado utilizando o teste Z para regressão logística múltipla no software G*Power (versão 3.1), com base no poder do teste Wald. Para o cálculo, assumiu-se um teste unilateral, razão de chances de 0,72 e probabilidade de ocorrência da mancha $\geq 60\%$. Os parâmetros preliminares foram estimados a partir de uma amostra piloto ($n = 40$), cujos preditores apresentaram baixa variabilidade

(coeficiente de determinação $< 0,3$). O tamanho amostral final estimado foi $n = 66$, viável dentro das limitações de recursos da pesquisa e garantindo um poder estatístico de 96%, considerado adequado para a condução do estudo.

3.4 Etapa 4: coleta de dados

A Figura 8 apresenta a distribuição dos edifícios onde ocorreu o levantamento de dados, numerados de E01 até E66. Destes, 46 apresentaram ocorrências do biofilme vermelho até a data de visita.

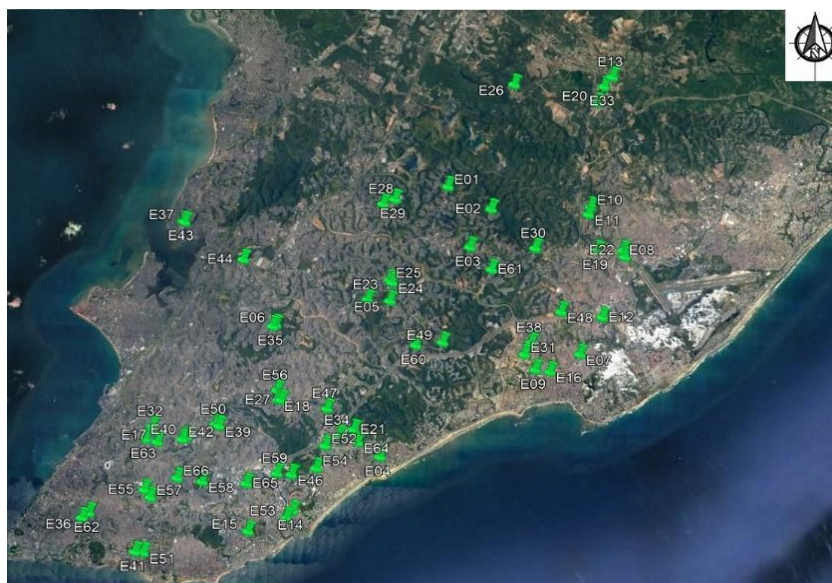
3.5 Etapa 5: tratamento estatístico dos dados e análises

O conjunto de dados, descrito parcialmente na Tabela 2, foi analisado por meio do modelo de regressão logística (MRL), amplamente utilizado na modelagem de dados com respostas binárias. Esse modelo, um caso especial da classe dos MLG (Figueira, 2006), foi aplicado para identificar as variáveis que influenciam significativamente o surgimento do biofilme vermelho.

Após essa etapa, realizou-se uma análise residual para verificar a adequação do modelo ajustado aos dados. Além disso, seu desempenho como ferramenta preditiva foi avaliado por meio da curva ROC, enquanto sua robustez foi validada pelo método de validação cruzada k-fold, que têm sido uma técnica estatística utilizada para amostras pequenas, a exemplo desta pesquisa na qual o $n=66$. Por fim, analisou-se a razão de chances associada à ocorrência de manchas.

As variáveis distância do mar, área de cobertura vegetal, altitude e orientação geográfica da fachada mais atingida pelas manchas vermelhas, são denominadas como extrínsecas e as variáveis idade dos edifícios, período após última pintura, tempo de surgimento das manchas, número de pavimento do edifício e tipo de acabamento da fachada como intrínsecas.

Figura 8 - Distribuição dos edifícios no território de Salgado-Ba



Fonte: imagem de satélite (Google Earth, 2022).

Tabela 2 - Configuração dos dados importados para o *software R*

CD	Mancha	Acabamento	Altitude (m)	Área (ha)	Distância (km)	Idade (anos)	Pavs.	Orientação	Período S. (anos)	Período U.P. (anos)
E01	0	1	82	27,19	8,07	10	5	0	0	10
E02	0	2	70	45,35	8,73	1	5	0	0	1
E03	0	1	53	30,82	5,77	6	4	0	0	6
E04	0	1	4	33,46	0,5	12	12	0	0	3
E05	0	1	76	33,28	5,13	12	5	0	0	12
E06	0	1	72	24,2	3,73	15	4	0	0	3

Nota: Mancha: refere-se à ausência ou presença do biofilme vermelho na edificação, sendo 0 para ausência e 1 presença; Acabamento: considerado 1 para acabamento em tinta e 2 em textura; Altitude: em metros; Área: área de vegetação, em hectares; Distância: refere-se a distância do mar ao edifício, em quilômetros; Idade: com referência ao ano de 2022; Pavs: número de pavimentos do edifício; Orientação: refere-se à orientação geográfica da fachada mais atingida do edifício sendo: 0 - fachadas sem manchas; 1 - fachada nordeste; 2 - fachada sudeste; 3 - fachada noroeste; 4 - fachada sudoeste. Período S.: refere-se ao período do surgimento das manchas nas fachadas, em anos; Tempo U.P.: Refere-se ao período após última pintura das fachadas, em anos.

Seguindo a teoria dos MLGs, a estrutura geral do modelo de regressão logístico é definida pela forma binomial apresentada nas Equações 2 e 3 (Paula, 2013).

$$Y_i \sim \text{Binomial}(\mu(x)) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\log\left(\frac{\mu(x)}{1-\mu(x)}\right) = x_i^T \beta \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

Y_i representa a variável resposta do i -ésimo indivíduo que assume valores;

$Y_i = 1$ (presença da mancha) ou $Y_i = 0$ (ausência da mancha); e

$\mu(x) = P(x)$ é a probabilidade da ocorrência do sucesso.

Ademais, $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})^T$ é o vetor de variáveis independentes ou explicativas e $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)^T$ represente o vetor de parâmetros a serem estimados.

4 Resultados e discussões

Ajustando o modelo de regressão logístico aos dados e aplicando o método *stepwise* é obtido o modelo ajustado apresentado na Equação 3. As estimativas dos parâmetros, assim como a função desvio e o Critério de informação de Akaike (AIC) estão descritos na Tabela 3.

$$\log\left(\frac{\hat{\mu}(x)}{1-\hat{\mu}(x)}\right) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \text{anos} + \hat{\beta}_2 \text{Pavs} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$e^{\hat{\beta}_1}$ representa a chance do aparecimento das manchas com o aumento de cada ano após última pintura nos edifícios, com as demais variáveis explicativas fixadas; e

$e^{\hat{\beta}_2}$ representa a chance do aparecimento das manchas com o aumento do número de pavimentos nos edifícios no log da chance, com as demais variáveis explicativas fixadas.

A partir das Equação 3 é possível perceber que as variáveis "distância do mar", "área de cobertura vegetal", "orientação geográfica da fachada mais afetada pelas manchas vermelhas", "idade dos edifícios", "tempo de surgimento das manchas", "tipo de acabamento da fachada" e "altitude" não estão presentes no modelo gerado, isto ocorre devido a junção delas em um só modelo não propiciarem os melhores resultados.

As variáveis "período após última pintura" e "número de pavimentos" apresentaram valor de p significativo ($p < 0.05$), conforme a Tabela 3.

Tabela 3- Parâmetros e valores de p estimados usando o MLG

Variável	Estimativa	Erro padrão	Pr(> z)
(Intercept)	-1,9790	0,8891	0,02602*
Período após última pintura	0,2182	0,1044	0,03659 *
Nº de pavimentos	0,1628	0,0614	0,00802**
Desvio do modelo ajustado sem a variáveis	80,970 com 65 gl		
Desvio do modelo ajustado com as variáveis	66,176 com 63 gl		
AIC	72,176		

Para verificar se ocorreram possíveis afastamentos da suposição do modelo proposto aos dados, bem como a presença de observações atípicas é importante realizar uma análise residual. A Figura 9, ilustra o gráfico do envelope simulado, gerado pelos resíduos componentes do desvio (Paula, 2013) e se pode observar que os resíduos obtidos a partir do modelo ajustado (Equação 3) estão dentro da banda de confiança, a qual foi gerada pela obtenção de resíduos de diversas amostras do modelo proposto. Deste modo, confirma-se a adequabilidade do modelo proposto aos dados.

Para verificar o desempenho deste modelo como uma ferramenta de predição foi utilizado o método da curva ROC (Figura 9), que consiste em uma representação visual do grau ou medida de discriminação da presença e ausência da mancha. Esta medida corresponde à área sob a curva (AUC) gerada pela variação da sensibilidade e da complementar da especificidade em relação aos valores preditos pelo modelo de regressão logístico para diferentes pontos de corte (Cabral, 2013).

Sensibilidade indica a probabilidade de prever a presença da mancha, dado que a mancha existe. Enquanto especificidade refere-se à probabilidade de não prever a presença da mancha quando ela não existe.

O complemento da especificidade corresponde a taxa de falsos positivos e o complemento da sensibilidade corresponde a taxa falsos negativos. Neste estudo, o ponto de corte utilizado será o que maximiza tanto as curvas de sensibilidade e a especificidade. Uma AUC de 0,5 indica falta de capacidade discriminatória (ou seja, equivalente ao acaso), enquanto uma AUC de 1,0 representa discriminação perfeita (Fawcett, 2006). A curva ROC do modelo da Equação 4 (Figura 9) apresenta AUC de 76,6%, indicando que o modelo logístico proposto é uma boa ferramenta na predição da presença ou não das manchas vermelhas nas fachadas dos edifícios de Salvador.

Na validação cruzada K-Fold, o conjunto de dados é dividido em K subconjuntos (folds) de tamanho aproximadamente igual. O modelo é treinado em K-1 folds e testado no fold restante, repetindo esse processo K vezes. Dessa forma, cada observação é utilizada exatamente uma vez para teste e K-1 vezes para treinamento, garantindo uma avaliação mais robusta do desempenho do modelo.

Aplicando a validação cruzada 5-Fold ao modelo de regressão logística proposto, obteve-se uma acurácia de 78% e um coeficiente Kappa de 41%, indicando uma concordância moderada entre as previsões do modelo e os valores observados. Isto significa que o modelo proposto acertou 78% das previsões da presença da mancha e que a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes pode ser refinada para melhorar sua capacidade preditiva.

O modelo de regressão logístico permite interpretar a chance da ocorrência do evento de interesse dado que as demais variáveis do modelo são consideradas fixadas, como exibido na Tabela 4.

Conforme apresentado na Tabela 4, os resultados concentram-se nos odds ratios (OR) e seus respectivos intervalos de confiança (2,5% e 97,5%). Cada variável foi analisada quanto à sua significância estatística e impacto na probabilidade de ocorrência do evento avaliado.

A variável "período após a última pintura" apresentou um OR de aproximadamente 1,244, o que indica que cada unidade adicional no período desde a última pintura aumenta as chances de ocorrência do evento em 24,4%. O intervalo de confiança, entre 1,030 e 1,558, indica um efeito estatisticamente significativo. Esse resultado é reforçado pela Tabela 3, na qual o valor de $p = 0,03659$ é menor que 0,05, confirmando a significância estatística. Assim, conclui-se que há uma relação positiva entre o tempo decorrido desde a última pintura e a probabilidade de o evento ocorrer.

Figura 9 - Gráfico do envelope e curva ROC

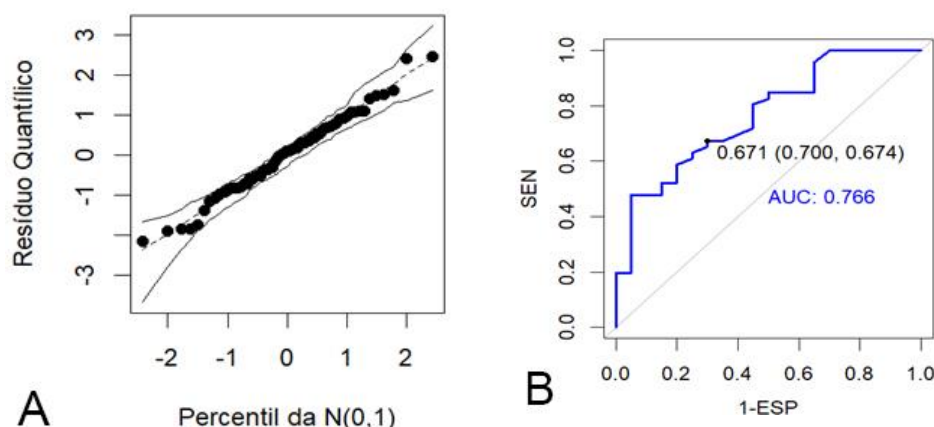


Tabela 4 - Intervalo de confiança para ODDS

Variável	OR	2.5%	97.5%
(Intercept)	0,1382005	0,02082512	0,7142649
Período após última pintura	1,2438703	1,03020921	1,5583951
Nº de pavimentos	1,1768051	1,05964742	1,3507173

A quantidade de anos após a última pintura retrata a quantidade de tempo de exposição do acabamento decorativo das fachadas, logo quanto mais anos se passam após a última pintura, maior será o tempo de exposição deste acabamento e consequentemente maior será a sua degradação, já que as fachadas são expostas aos agentes agressivos do meio externo e o sistema de pintura vai perdendo seu desempenho. Neste contexto, a fragilização do material de acabamento o torna vulnerável ao desenvolvimento de fissuras e maiores concentrações de umidade no substrato, fatores esses que favorecem o crescimento de microrganismos. Vale salientar que, conforme Di Giuseppe (2013), os biocidas possuem naturalmente prazos de validade, reduzindo sua eficácia ao longo do tempo, fator este que fortalece ainda mais a resposta do modelo de regressão logístico de que a variável anos após pintura influencia no surgimento ou não do biofilme vermelho.

A variável "número de pavimentos" registrou um OR de aproximadamente 1,177, indicando que cada unidade adicional no número de pavimentos aumenta as chances do evento em 17,7%. O intervalo de confiança, compreendido entre 1,060 e 1,351 confirma sua significância estatística. Essa resposta é evidenciada na Tabela 3, na qual o valor de $p = 0,00802$ é menor que 0,05, confirmando a significância estatística. Deste modo, conclui-se que edifícios com maior número de pavimentos apresentam maior probabilidade de ocorrência do evento analisado.

Conforme observado nas visitas em campo, as manchas vermelhas tendem a se concentrar nos andares superiores dos edifícios, de acordo com a Figura 10. Esta tendência pode ser explicada devido às águas das chuvas geralmente atingirem primeiro a parte superior das fachadas e estas se caracterizarem como regiões de maiores umidades, outro fator que pode auxiliar nessa tendência é o vento, pois em locais altos a intensidade do vento se torna maior devido a poucas barreiras existentes nessas alturas. A partir da Figura 10 é possível observar a falta pingadeiras no topo dos edifícios, a ausência desses elementos construtivos possibilita o escoamento da chuva nessas regiões, além do possível ingresso da água pela platibanda, que pode contribuir no acúmulo de umidade nessa região do topo, pois a penetração da água ocorre pelas duas faces da platibanda. Deste modo, os fatos apresentados sustentam a resposta do modelo de regressão logístico de que a variável número de pavimentos influencia no surgimento ou não do biofilme vermelho.

Apesar das variáveis orientação geográfica e tempo de surgimento das manchas não gerarem resultados interessantes ao MRL obtido, a análise descritiva dessas variáveis por meio da distribuição de frequências apresentaram resultados relevantes, conforme os gráficos das Figura 11 e 12. Vale salientar que na amostra estudada possui edifícios com ausência e presença do biofilme vermelho (BV), nas Figura 11 e 12 "Nenhuma" e "0" são referentes aos edifícios que não possuem as manchas.

Conforme o gráfico da Figura 11 as fachadas mais afetadas pelo biofilme vermelho estão direcionadas para a região Sudeste, apresentando uma frequência relativa de 50%. Já as fachadas orientadas para o Noroeste

constam como as menos atingidas com 2% de frequência relativa. No Brasil as fachadas com orientação para o sul, tais como sudeste e sudoeste, são as que menos recebem incidência solar, consequentemente são as vedações mais biodeterioradas (Breitbach, 2009; Silva, 2007). A baixa incidência do sol nas fachadas reflete na baixa evaporação da umidade superficial do revestimento, como maiores umidades propiciam o desenvolvimento dos microrganismos, estas fachadas estão sujeitas a serem mais favoráveis ao crescimento e proliferação de algas, fungos, bactérias e entre outros organismos. A orientação Sudeste das fachadas favorece a colonização por microrganismos, devido ao vento predominante de Sudoeste em Salvador. O vento pode carregar até estes substratos partículas que podem servir de nutrientes para microrganismos já existentes nas fachadas, bem como, carregar fragmentos reprodutores de microrganismos que encontram no substrato condições favoráveis à sua reprodução.

Os dados relacionados ao período de surgimento das manchas após a última pintura foram relacionados ao período declarado pelos residentes das edificações, em anos. Não foi possível uma maior resolução temporal da ocorrência neste caso pois os relatos sofrem influência da percepção individual. Conforme a Figura 12, é possível constatar que a percepção do surgimento do biofilme vermelho ocorre de 1 a 3 anos, sendo apontado o aparecimento das manchas a partir de 2 anos por parte de aproximadamente 45,45% da amostra.

Figura 10 - Concentração das manchas vermelhas nos pavimentos superiores



Fonte: acervo dos autores (2022).

Figura 11 - Distribuição de frequências da orientação geográfica mais atingida

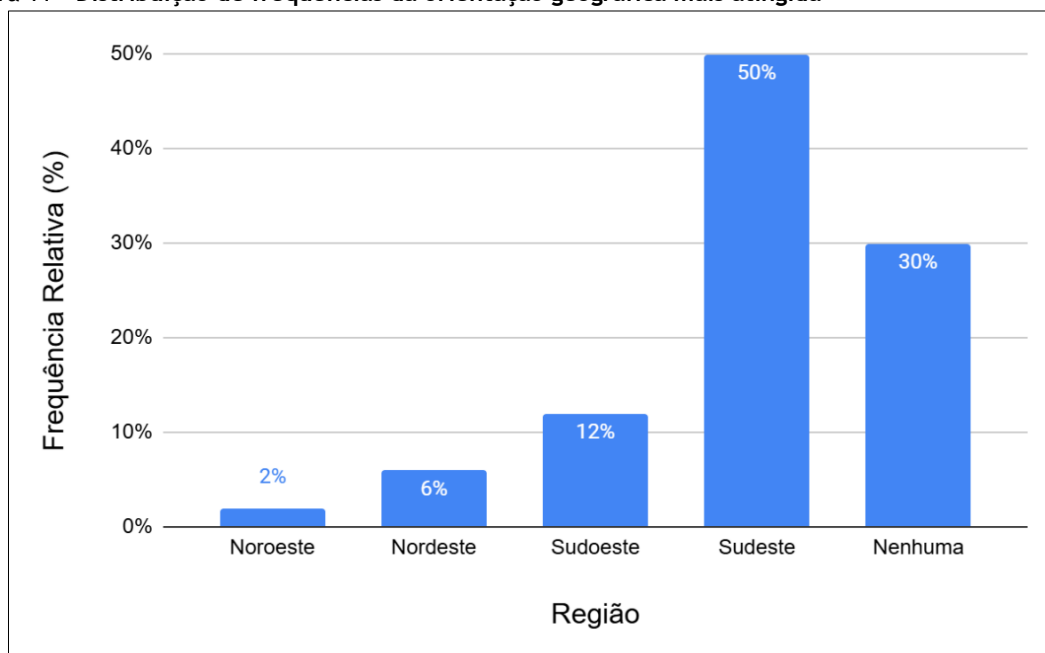
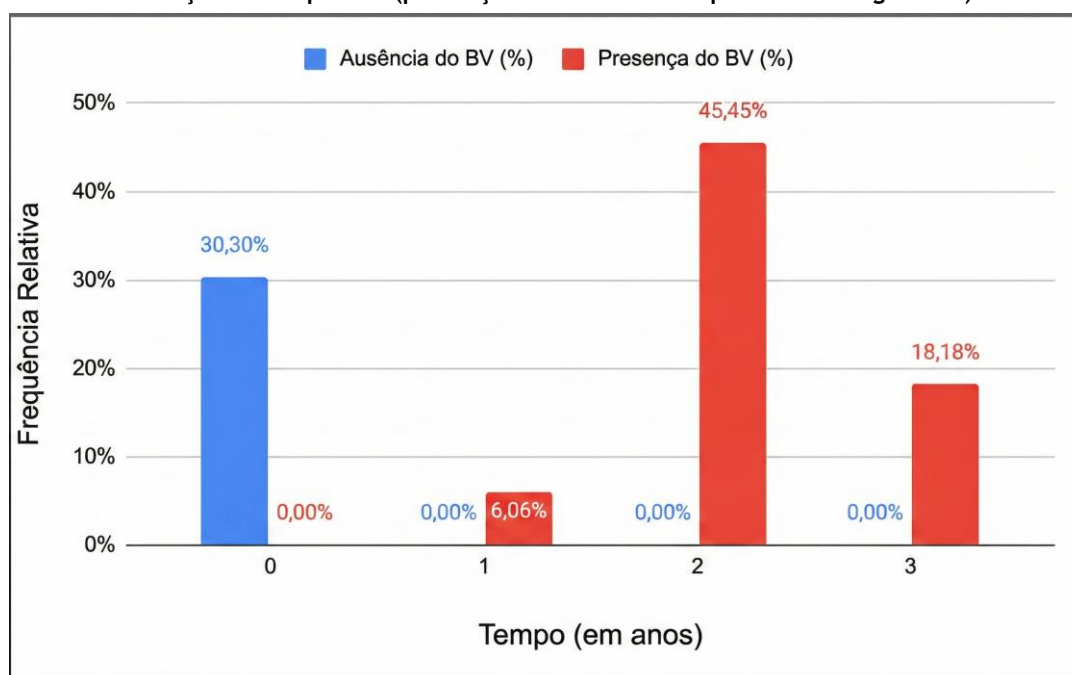


Figura 12 - Distribuição de frequência (presença/ausência do BV e período de surgimento)



Dubosc (2000) aponta que o surgimento do biofilme em paredes geralmente leva cerca de 1 ano, considerando a afirmação do autor é possível que o biofilme vermelho tenha surgido antes do tempo informado pelos residentes dos edifícios, no entanto as manchas só se tornaram perceptíveis a partir de dois anos após a última pintura. Diante disso, recomenda-se que a lavagem das fachadas seja realizada a cada dois anos, de forma adequada ao sistema de pintura, com o objetivo de minimizar os danos estéticos nesses edifícios.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece vida útil mínima de 8 anos para os sistemas de pintura externa, considerando a correta aplicação das operações de manutenção. No entanto, observa-se na prática que o aparecimento de manchas de biofilme vermelho tende a ocorrer em prazos significativamente menores, revelando um descompasso entre a expectativa normativa e o desempenho real. Essa constatação reforça a necessidade de desenvolver estratégias que prolonguem a durabilidade das pinturas, assegurando maior conformidade com os padrões de desempenho previstos.

Compreender como diversas variáveis influenciam no surgimento de microrganismos em fachadas é fundamental para a busca de estratégias mitigadoras eficazes. Esse entendimento permite o desenvolvimento de produtos mais resistentes e a adoção de medidas preventivas no planejamento das construções. Por exemplo, ao analisar o entorno da edificação, pode-se optar por materiais mais resistentes para fachadas susceptíveis ao surgimento de manchas vermelhas. Além disso, elementos construtivos que minimizem a umidade nas fachadas podem ser implementados, reduzindo a probabilidade de criação de ambientes favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos responsáveis pelo biofilme vermelho. Dessa forma, é possível não apenas prolongar a vida útil das edificações, mas também reduzir os custos de manutenção e melhorar a estética urbana.

5 Considerações finais

O estudo dos fatores que influenciam a ocorrência do biofilme vermelho em fachadas de edifícios é de grande relevância para a engenharia civil, especialmente no que diz respeito à durabilidade e manutenção das edificações. A utilização de um modelo estatístico preditivo para analisar o surgimento das manchas vermelhas permite a adoção de medidas preventivas mais eficazes, tanto no desenvolvimento de materiais específicos, como tintas mais resistentes ao biofilme vermelho, quanto na avaliação preliminar do entorno para o planejamento de fachadas. Ao identificar tendências e compreender o comportamento dos fatores que contribuem para esse fenômeno, torna-se possível a busca pela mitigação dos seus impactos, com indicação de medidas mais assertivas desde a escolha do tipo de tinta, limpeza e manutenção, aumentando a vida útil das construções e reduzindo custos com manutenção.

O modelo de regressão logística aplicado mostrou-se adequado aos dados, como evidenciado pelo gráfico de envelope gerado a partir dos resíduos do desvio. Além disso, a análise da curva ROC e a validação cruzada k-fold indicaram que o modelo proposto apresenta um desempenho aceitável na predição da presença ou ausência de manchas vermelhas nas fachadas dos edifícios de Salvador, com 78% de acurácia na previsão da presença das manchas.

O modelo ajustado demonstrou significância estatística para as variáveis, como "período após a última pintura" e "número de pavimentos", sugerindo que essas variáveis exercem impacto relevante na probabilidade de ocorrência das manchas vermelhas nas fachadas. Ambas se mostraram diretamente proporcionais à probabilidade de formação do biofilme vermelho.

Uma pintura mais antiga impacta em um maior tempo de exposição aos agentes agressivos e níveis progressivamente menores de desempenho da camada de pintura. Consequentemente, com a fragilização da superfície, aumenta-se a vulnerabilidade ao desenvolvimento de fissuras e concentração de umidade no substrato, favorecendo o crescimento de microrganismos.

A quantidade do número de pavimentos está relacionada à altura desses edifícios e foi percebida uma tendência de concentração das manchas nos pavimentos superiores, que pode ser explicada devido às águas das chuvas geralmente atingirem a parte superior das fachadas somada à ausência de pingadeiras perimetrais na edificação, levando ao escoamento de água da cobertura com sedimentação de detritos e maior umidade das regiões elevadas. Outro fator que colabora com esta tendência é a intensidade do vento em locais mais altos, que pode carregar poluentes que servem de nutrientes aos microrganismos residentes, além de fragmentos reprodutivos de outros microrganismos que encontram no substrato condições adequadas para sua reprodução.

As variáveis "distância do mar", "área de cobertura vegetal", "orientação geográfica da fachada mais afetada pelas manchas vermelhas", "idade dos edifícios", "tempo de surgimento das manchas", "tipo de acabamento da fachada" e "altitude" não apresentaram resultados significativos, nesta amostra, ou contribuições relevantes ao serem incluídas no modelo de regressão linear. Por esse motivo, foram excluídas do modelo final.

No entanto, as variáveis "orientação geográfica" e "tempo de surgimento das manchas" apresentaram resultados interessantes em uma análise descritiva dos dados. Foi observado, dentro da amostra estudada, que as fachadas mais afetadas pelo biofilme vermelho foram aquelas direcionadas para sudeste, região com menor incidência solar no município, sendo a que mais recebe chuvas dirigidas devido à orientação predominante dos ventos.

Em relação ao tempo de surgimento do dano nas fachadas, os relatos perceptivos dos moradores indicam ressurgimento em apenas aproximadamente 2 anos desde a repintura. Sendo este um dado baseado em percepções individuais, é possível que o biofilme se reestabeleça na fachada em tempo inferior, porém ainda de forma mais branda, ficando despercebido até afligir área maior. Com base nessa constatação, recomenda-se a lavagem periódica das fachadas a cada dois anos, utilizando produtos e procedimentos adequados a cada tipo de pintura, como forma de reduzir os impactos estéticos causados pelo acúmulo de biofilme.

Por fim, pode-se afirmar que as conclusões obtidas fornecem uma boa representação da população da qual a amostra foi retirada, podendo os resultados encontrados fomentar a busca por soluções mitigadoras e mais eficazes para o biofilme vermelho em fachadas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BARBEROUSSE, H. *et al.* Factors involved in the colonisation of building façades by algae and cyanobacteria in France. **Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm**, v. 22, n. 1/2, p. 69-77, 2006.

BARBEROUSSE, H. **Etude de la diversité des algues et cyanobactéries colonisant les revêtements de façade en France et recherche des facteurs favorisant leur implantation**. Paris, 2016. PhD thesis, Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, 2016.

BAUER, E. *et al.* Identification and quantification of failure modes of new buildings façades in Brasília. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 12., Porto, 2011. **Proceedings [...]** Porto, 2011.

- BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23–43, out./dez. 2021.
- BREITBACH, A. M. **Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa**. Florianópolis, 2009. (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- CABRAL, C. I. S. **Aplicação do modelo de regressão logística num Estudo de Mercado**. Lisboa, 2013. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e à Gestão) – Departamento de Estatística e Investigação Operacional. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.
- CONSOLI, J. O. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- DI GIUSEPPE, E. **Nearly zero energy buildings and proliferation of microorganisms: a current issue for highly insulated and airtight Building envelopes**. Londres: Springer, 2013.
- DUBOSC, A. **Étude du développement de salissures biologiques sur les parements en béton: mise au point d'essais accélérés de vieillissement**. Toulouse, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Université de Toulouse, Toulouse, 2000.
- FAWCETT, T. An introduction to ROC analysis. **Pattern Recognition Letters**, v. 27, n. 8, p. 861-874, 2006.
- FIGUEIRA, C. V. **Modelos de regressão logística**. Porto Alegre, 2006. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. de. A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 9, p. 1718–1729, set. 2010.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. de. Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. **Building and Environment**, v. 43, n. 11, p. 1818–1828, nov. 2008.
- GAYLARDE, C. C. *et al.* Biodeterioration of external architectural paint films: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 65, n. 8, p. 1189-1198, 2011.
- GOOGLE. Google Earth. **Imagem de satélite**. 2022. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- KOVACIC, I.; WALTENBERGER, L.; GOURLIS, G. Tool for life cycle analysis of facade-systems for industrial buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 260-272, 2016.
- LIU, G. *et al.* Massive trentepohlia-bloom in a Glacier Valley of Mt. Gongga, China, and a New Variety of Trentepohlia (Chlorophyta). **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, e37725, 2012.
- MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.
- MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J. Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., Foz do Iguaçu, 2022. **Anais [...]** Foz do Iguaçu: IBRACON, 2002.
- MELO JÚNIOR, C. M. *et al.* Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por VANT e uso de fotogrametria digital. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211–226, jul./set. 2018.
- MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. Goiânia, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- MORILLAS, H. *et al.* Characterization of the main colonizer and biogenic pigments present in the red biofilm from La Galea Fortress sandstone by means of microscopic observations and Raman imaging. **Microchemical Journal**, v. 121, p. 48-55, 2015.

BAPTISTA NETO, J. A. B. *et al.* Degradação de gnaiss e granito em fachadas de edifícios históricos no centro do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, v. 15, n. 1, p. 80-90, 2020.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão**: com apoio computacional. São Paulo: IME-USP, 2004.

PEREIRA, L. M. **Avaliação das patologias e da biodeterioração na Biblioteca Central da UFSM**. Santa Maria, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

QURESHI, S. A. *et al.* Development of algae guard façade paint with statistical modeling under natural phenomena. **Coatings**, v. 8, n. 12, p. 440, 2018.

RED GABLE CLEANING. **Red Algae**. Disponível em: <https://www.redgablecleaning.com/red-algae/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

SANTOS, A. B. **Identificação biológica e aplicação de biocidas na população microbiana que forma os biofilmes de alguns monumentos históricos da Bahia**. Salvador, 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SHIRAKAWA, M. A. *et al.* **A biodeterioração de materiais de construção civil**. Téchne, São Paulo v. 5, n. 33, p. 36-39, 1998.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados**: estudo de caso em edifícios em Florianópolis. Florianópolis, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas**: efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Brasília, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VASCONCELOS, C. V. *et al.* Aspectos relevantes para o conhecimento de *cephaleuros* sp.: morfologia, fisiologia e ecologia. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 228-235, 2016.

ZANONI, V. A. G.; SANCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. Métodos para quantificação de chuva dirigida incidente nas fachadas das edificações. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 122-132, jun. 2018.

Agradecimentos

À Universidade Federal da Bahia (UFBA); À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado da Bahia (FAPESB); À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Declaração sobre IA Generativa e Tecnologias Assistidas por IA no Processo de Escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) utilizou(aram) o ChatGPT para verificar problemas gramaticais e melhorar a legibilidade. Após a utilização desta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisou(aram) e editou(aram) o conteúdo conforme necessário e assume(m) total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Suporte Financeiro

FAPESB.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Dados de pesquisa somente disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.

Conflito de Interesses

Não há conflito de interesse.

Vanessa G. Gonçalves: Conceitualização, Metodologia, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Desenvolvimento, Elaboração do manuscrito original e Redação - revisão e edição do texto. **Lizandra C. Fabio:** Metodologia, Validação de dados, Apresentação de dados, Análise de dados e Revisão e edição do texto. **Vinicius A. Coelho:** Análise de dados, Revisão e edição do texto. **Francisco G. S. Silva:** Supervisão, Administração do projeto e Revisão e edição do texto.

Editor-chefe: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.