Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil:
Construção e Infraestrutura

Francisca Larah Vasconcelos Araújo Paz

Biodeterioração de edificação histórica por fungos filamentosos: estudo de caso em Porto Alegre – RS, após inundação

Porto Alegre
2026

FRANCISCA LARAH VASCONCELOS ARAÚJO PAZ

BIODETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÃO POR FUNGOS FILAMENTOSOS: ESTUDO DE CASO EM PORTO ALEGRE – RS, APÓS INUNDAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat
Dr., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Orientador

Profa. Fernanda Lamego Guerra
Dra., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Coorientadora

Porto Alegre
2026

FRANCISCA LARAH VASCONCELOSARAÚJO PAZ

BIODETERIORAÇÃO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA POR FUNGOS FILAMENTOSOS: ESTUDO DE CASO EM PORTO ALEGRE – RS, APÓS INUNDAÇÃO

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Desempenho e Patologia, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de abril de 2026.

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat
Dr, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Orientador

Prof. Fernanda Lamego Guerra
Dra, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Coorientadora

Prof. Lélio Antônio Teixeira Brito
Coordenador PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Augusto Schrank (UFRGS)
Doutor pela University of Manchester Institute of Science and Technology, Inglaterra

Prof. Fátima Menezes Bento (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Dedico este trabalho à minha mãe, minha melhor amiga e parceira da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha mãe e melhor amiga, Teresa. Sem ela, nada disso seria possível. Obrigada por toda dedicação, companheirismo, pelo melhor colo e por ter me ensinado a viver nesse mundo. A distância reduziu drasticamente nossos encontros e a sua saudade é uma constante. Espero que, à minha maneira, eu sempre te orgulhe. Te amo pra sempre, mãe.

Agradeço ao meu noivo, namorado e melhor amigo, Ronaldo, que me apoia desde à graduação e está ao meu lado em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis e agora, em um dos mais importantes da minha vida. Me orgulho da vida que estamos construindo juntos e quero compartilhar cada dia ao teu lado até onde nos for possível.

Meus mais sinceros agradecimentos aos meus orientadores, prof. Daniel e prof. Fernanda, que embarcaram comigo nessa jornada ao me apresentarem essa área a qual eu me entusiasmei desde o início. Obrigada por todas as reuniões, por todas as visitas ao Museu e pela disposição em sempre ensinar. Vocês foram muito parceiros, me inspiro no trabalho dos dois e anseio seguir com a colaboração no doutorado.

Obrigada à minha psicóloga, Diúlia. Contigo eu consigo compreender a cada dia a importância de me conhecer e da minha saúde mental. Agradeço por me acompanhar desde o início do mestrado e estar ao meu lado nessa loucura de emoções que envolvem a pós-graduação.

Agradeço ao professor Augusto Schrank, que prontamente me disponibilizou o acesso ao Laboratório de Biologia Celular e Molecular de Fungos Filamentosos e a todos os equipamentos e materiais de consumo. Sem a sua confiança, análises fundamentais desse trabalho não seriam possíveis.

À professora Fátima Bento, meus mais sinceros agradecimentos. Obrigada pelo acesso ao Laboratório de Biodeterioração de Combustíveis e Biocombustíveis do Instituto de Ciências Básicas da Saúde (ICBS) e por todo conhecimento disponibilizado, especialmente na minha qualificação. Suas pontuações foram fundamentais para o meu constante amadurecimento acadêmico.

De modo conjunto, quero agradecer aos colegas Matheus Camargo e Dani Figueiro, que me ofereceram com tanta atenção e paciência, o ensino de procedimentos e protocolos de ciências biológicas. Vocês foram professores fundamentais nessa minha jornada pela microbiologia.

Obrigada Juliana Wagner, arquiteta responsável por me apresentar o Museu e me disponibilizar o acesso ao meu objeto de estudo, sua confiança no trabalho foi crucial. Minha gratidão ao corpo administrativo do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo: Beth, Karina e Luciana, que asseguravam entrada ao local sempre que necessário e se apresentavam de prontidão a me auxiliar nas diversas dúvidas que tive pelo caminho. Agradeço também ao Dener, responsável pela segurança do Museu, pela atenção e cordialidade ao longo das diversas visitas que fiz ao local.

Um agradecimento mais que especial aos meus bolsistas de iniciação cientifica, Pedro Roveda, João Pedro e Eduarda Oliveira, vocês foram fundamentais para a execução da minha pesquisa, além dos diversos momentos de descontração que foram indispensáveis. Ademais, espero ter oferecido uma experiencia marcante na iniciação científica e garanto que vocês tiveram um

papel essencial no meu crescente flerte com a carreira de ensino. Muito obrigada aos diversos bolsistas que me auxiliaram em todas as etapas da minha pesquisa, sempre com cuidado e atenção na execução dos procedimentos.

Obrigada à fundação CAPES, que me disponibilizou suporte financeiro para me manter em Porto Alegre e realizar essa pesquisa.

Agradeço à Denise, Carla e Pâmela, que especialmente na reta final do trabalho, me aturaram desde às sete e meia da manhã no Norie, oferecendo seu tempo para conversarmos, quase sempre sobre novela, e me permitiram uma distração que tanto me acalmou.

Por fim, um agradecimento especial aos colegas do Norie que estiveram comigo nessa caminhada, alguns desde o início do mestrado e outros que fui conhecendo ao longo do caminho. Compartilhar conhecimento e experiências na salinha foi fundamental pra mim, não apenas como pesquisadora.

“Mas pra quem tem pensamento forte o impossível é só questão de opinião”

(Charlie Brown Jr.)

RESUMO

PAZ, F.L.V.A. **Biodeterioração de edificação histórica por fungos filamentosos: estudo de caso em Porto Alegre – RS, após inundação**. 2026. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Ano.

Eventos climáticos extremos, como inundações, acarretam prejuízos significativos à sociedade e ao ambiente construído, com impactos ainda mais destacados em edificações de valor histórico. Esses eventos podem favorecer a deposição e o desenvolvimento de comunidades microbianas nas superfícies de revestimentos originalmente inorgânicos, comprometendo a integridade do patrimônio e a qualidade do ar dos ambientes internos, logo, à saúde dos ocupantes. O presente estudo tem por objetivo analisar a biodeterioração do revestimento de uma edificação histórica (século XIX, 1845-1853) após o evento de inundação na cidade de Porto Alegre, em 2024, o Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, priorizando o estudo em ambientes diretamente impactados pela água da inundação. O delineamento metodológico do trabalho envolveu o monitoramento microclimático no período de um ano na sala de armazenamento do acervo, a coleta e caracterização de amostras dos revestimentos internos e externos da edificação e sua camada de acabamento, a coleta e caracterização da comunidade fúngica existente e análise do espectro de ação de solução de tetraborato de sódio decahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) por meio da determinação da concentração mínima inibitória e/ou biocida frente ao isolado fúngico *Aspergillus protuberus* identificado nas amostras biológicas. Com base nos dados obtidos do espectro de ação do composto, foi estruturado um protocolo de limpeza e desinfecção de pontos delimitados das superfícies, adotando um meio de controle comparativo mediante à aplicação de solução de hipoclorito de sódio (NaClO). Os resultados obtidos por meio do monitoramento climático indicaram umidade relativa média de 86% e médias de temperaturas máximas e mínimas de 21°C. A caracterização das amostras do revestimento interno e externo indicou uma predominância de $CaCO_3$ e areia quartoza, com traços em massa entre 1:2,18 a 1:4,77. A comunidade fúngica que compõe o biofilme das superfícies foi caracterizada por meio de procedimentos de identificação que envolvem microcultivo, extração de DNA, PCR e sequenciamento genético. Entre os isolados fúngicos identificados, citam-se as espécies: *Aspergillus protuberus, Aspergillus versicolor*, *Aspergillus westerdijkiae*, *Cladosporium halotolerans* e *Cladosporium sphaerospermum*. Por meio de espectrofotometria, o comportamento sazonal das superfícies apresentou redução na luminosidade. Após a aplicação das soluções houve clareamento imediato enquanto os efeitos residuais ao longo do período registrado indicam que as variações foram mais expressivas nas fachadas, onde as manchas eram mais pronunciadas; contudo, considerando o conjunto dos resultados, houve um aumento da luminosidade mais destacado nos pontos com aplicação de $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, apesar da baixa variação colorimétrica. O processamento digital dos registros fotográficos dos pontos ratifica que ambos os protocolos se mostram eficazes, sem que houvesse retorno do manchamento aos níveis anteriores à aplicação, no período de 45 dias analisado.

Palavras-chave: Biodeterioração. Fungos filamentosos. Edificação histórica.

ABSTRACT

PAZ, F.L.V.A. **Biodeterioration of a historic building caused by filamentous fungi: a case study in Porto Alegre – RS, following a flood**. 2026. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2026.

Extreme climatic events, such as floods, cause significant damage to society and to the built environment, with even more pronounced impacts on buildings of historical value. These events may promote the deposition and development of microbial communities on the surfaces of originally inorganic coatings, compromising the integrity of cultural heritage, indoor air quality, and consequently, the health of occupants. The present study aims to analyse the biodeterioration of the coating of a historical building (19th century, 1845-1853) following the flooding event that occurred in the city of Porto Alegre in 2024, focusing on the Joaquim Felizardo Porto Alegre Museum, with emphasis on environments directly impacted by floodwater. The methodological design comprised microclimatic monitoring over a one-year period in the collection storage room, the sampling and characterization of internal and external coatings of the building and their finishing layers, the sampling and characterization of the existing fungal community and the analysis of the activity spectrum of a sodium tetraborate decahydrate solution ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) through the minimum inhibitory and/or biocidal concentration of the compound against the fungal isolate *Aspergillus protuberus* identified in the biological samples. Based on the data obtained from the compound's activity spectrum, a cleaning and disinfection protocol was developed for selected surface areas, adopting a comparative control approach through the application of a sodium hypochlorite solution (NaClO). The results obtained through microclimatic monitoring indicated an average relative humidity of 86%, and average maximum and minimum temperatures of 21°C. The characterization of internal and external coating samples revealed a predominance of $CaCO_3$ and quartz sand, with mass ratios ranging from 1:2.18 to 1:4.77. The fungal community composing the surface biofilm was characterized through identification procedures involving microculture, DNA extraction, PCR techniques, and genetic sequencing. Among the identified fungal isolates were the species *Aspergillus protuberus*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus westerdijkiae*, *Cladosporium halotolerans*, and *Cladosporium sphaerospermum*. Through spectrophotometry, the seasonal behavior of the surfaces showed a reduction in luminosity; following the application of the solutions, immediate lightening was observed, while residual effects over the monitored period indicated more pronounced variations on the façades, where staining was more evident. However, considering the overall results, a more significant increase in luminosity was observed at points treated with $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, despite the low colorimetric variation. Digital processing of photographic records further confirmed that both protocols were effective, with no recurrence of staining to pre-application levels.

Keywords: Biodeterioration. Filamentous Fungi. Historic Building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenvolvimento de hifas a partir da germinação de esporo. 26
Figura 2: Estrutura morfológica de fungos dos gêneros a) Cladosporium e b) Aspergillus. ... 27
Figura 3: Fatores relevantes para o desenvolvimento fúngico. 28
Figura 4: Procedimento de avaliação da contaminação fúngica em edificação afetada por umidade. 36
Figura 5: Fluxograma das etapas da pesquisa. 44
Figura 6: A edificação em estudo - O Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo 45
Figura 7: Linha temporal do histórico da edificação. 46
Figura 8: Locação da edificação. 46
Figura 9: Locação da edificação na mancha de inundação. 47
Figura 10: Registros de áreas da edificação no decorrer dos eventos de inundação em 2024. 48
Figura 11: Condições do revestimento no ambiente “Arquivo geral” após a inundação. 48
Figura 12: Limpezas realizadas após inundação. 49
Figura 13: Fachada principal (sudoeste)- Representação e demarcação dos pontos de coleta. 51
Figura 14: Fachada lateral direita (sudeste) - Representação e demarcação dos pontos de coleta. 51
Figura 15: Ambientes selecionados para coleta - pátio interno, circulação e arquivo geral. ... 52
Figura 16: Esquema representativo de coleta na fachada principal. 53
Figura 17: Acervo armazenado para restauro. 54
Figura 18: Locação dos sensores no Arquivo Geral. 55
Figura 19: Locação da extração das amostras de revestimento da edificação. 56
Figura 20: Configurações de extração das amostras. 56
Figura 21: Amostras dispostas em béqueres após estabilização da massa. 57
Figura 22: Camadas de pintura identificadas na amostra 3 (fachada lateral esquerda). 57
Figura 23: Agregados a) no início da lavagem/filtragem e b) após a lavagem/filtragem. 58
Figura 24: Resumo do procedimento de coleta e proporcionamento ligante:agregado de amostras do revestimento. 59
Figura 25: Preparo das amostras para análises mineralógicas. 60
Figura 26: Prospecção do revestimento a)fachada sudoeste acima do nível de inundação b)fachada sudoeste abaixo do nível de inundação c) arquivo geral parede 1 acima do nível de inundação e d)arquivo geral parede 1 abaixo do nível de inundação. 62
Figura 27: Pontos delimitados para coleta em regiões do revestimento – condições em janeiro de 2025. 63
Figura 28: Pontos delimitados para coleta em regiões do revestimento – condições em julho de 2025. 64
Figura 29: Resumo das etapas desenvolvidas nos procedimentos de coleta e cultivo. 65
Figura 30: Etapas do procedimento: a) placa com isolado analisado; b) sistema com lâmina, lamínula, meio nutricional ágar Sabouraud com isolado e algodão umedecido; c) lâminas finalizadas com corante Lactofenol azul de algodão e d) imagem obtida por meio de microscopia do gênero *Cladosporium*. 66
Figura 31: Arquivos do museu com presença de fungos. 67

Figura 32: Resumo dos procedimentos que envolvem a extração de DNA dos isolados fúngicos. 69
Figura 33: Configuração adotada nas etapas de PCR. 70
Figura 34: Resumo dos procedimentos de análise PCR. 71
Figura 35: Representação do espectro das coordenadas L*a*b*. 72
Figura 36: Representação do molde utilizado para execução da espectrofotometria. 73
Figura 37: Posicionamento do espectrofotômetro para medição nos pontos definidos pelo molde. 73
Figura 38: Metodologia de análise das variações das coordenadas colorimétricas das superfícies. 74
Figura 39: Configuração dos pontos de amostragem das superfícies para registro dos dados colorimétricos. 75
Figura 40: Câmara de Neubauer e quadrantes de contagem considerados. 77
Figura 41: Representação esquemática do procedimento de concentração mínima inibitória. 79
Figura 42: Resumo das etapas desenvolvidas no procedimento de concentração mínima inibitória. 79
Figura 43: Resumo dos procedimentos adotados no protocolo de limpeza e desinfecção das superfícies. 84
Figura 44: Registros do monitoramento microclimático anual no arquivo geral – Sensor P2. 85
Figura 45: Registros do monitoramento microclimático anual no arquivo geral – Sensor P4. 86
Figura 46: Média das leituras mensais no período de um ano para temperatura e UR do ambiente interno analisado. 87
Figura 47: Valores médios mensais para temperatura e UR do ambiente Arquivo Geral. 88
Figura 48: Média dos valores mensais de UR exterior e do ambiente interno Arquivo geral para o ano de 2025. 89
Figura 49: Média das temperaturas mensais exteriores e do ambiente interno arquivo geral para o ano de 2025. 89
Figura 50: Área de extração de fragmento do revestimento externo (Amostra 3). 92
Figura 51: Curva granulométrica dos agregados das amostras. 95
Figura 52: Distribuição granulométrica dos grãos de agregado das amostras. 95
Figura 53: Coordenadas colorimétricas e coloração dos particulados finos de cada amostra. . 96
Figura 54: Análise de difração de raio X das amostras do revestimento. 97
Figura 55: Análise termogravimétrica e derivada das amostras. 99
Figura 56: Espectro FTIR da amostra interna e bandas de absorção. 100
Figura 57: Espectro FTIR da amostra externa e bandas de absorção. 101
Figura 58: Representação da estimativa de contagem de UFC/mL dos pontos de coleta. 104
Figura 59: Formação de *pitting* em amostra extraída do revestimento do Arquivo Geral. 105
Figura 60: Origem das UFCs identificadas no período de verão. 105
Figura 61: Origem das UFCs identificadas no período de inverno. 106
Figura 62: Colônias desenvolvidas por sedimentação espontânea em placas locadas no ambiente Arquivo Geral. 110
Figura 63:Representação esquemática de cabeças aspergilares unisseriadas e bisseriadas. .. 112
Figura 64: Espécies A. westerdijkiae, A.protuberus e A. versicolor identificadas: Colônias e conidióforos dos respectivos isolados fúngicos. 114

Figura 65: Espécies de Aspergillus identificadas: Morfologia das colônias dos respectivos isolados em lupa estereoscópica. 114
Figura 66: Representação da morfologia microscópica de Cladosporium sp. 115
Figura 67: Espécies de Cladosporium identificadas: Colônias e conidióforos dos respectivos isolados fúngicos C. sphaerospermum e C. halotolerans. 116
Figura 68: Espécies de Cladosporium identificadas: Morfologia das colônias dos respectivos isolados em lupa estereoscópica. 117
Figura 69: Testes prévios com concentrações baixas de tetraborato de sódio: crescimento em todas as concentrações. 118
Figura 70: Frascos de penicilina contendo a solução do produto testado com as diluições e suas respectivas triplicatas, aos 28 dias de cultivo: inibição na diluição 100.000ppm. 119
Figura 71: Drop-plate das concentrações da solução (7 dias). 119
Figura 72: Esquema ilustrativo da avaliação quanto ao potencial antifúngico do tetraborato de sódio decahidratado sobre um isolado fúngico: inibição a 100.000ppm e sem ação biocida. 120
Figura 73: Variação colorimétrica dos pontos da estação de verão para a estação de inverno. 122
Figura 74: Variação da luminosidade dos pontos da estação de verão para a estação de inverno. 123
Figura 75: Variação colorimétrica dos pontos do revestimento após aplicação das soluções. 124
Figura 76: Registros fotográficos dos pontos das superfícies na fachada principal com aplicação da solução de tetraborato de sódio decahidratado. 125
Figura 77: Variação da luminosidade dos pontos do revestimento após aplicação das soluções. 126
Figura 78: Variações colorimétricas (ΔE) e de luminosidade (ΔL) dos pontos na fachada principal (orientação sudoeste). 127
Figura 79: Síntese dos resultados de registros colorimétricos. 131
Figura 80: Quantificação da área de manchamento dos pontos com aplicação de tetraborato de sódio decahidratado - Fachada principal. 133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies fúngicas em materiais inorgânicos. 32
Tabela 2: Condições microclimáticas do período de extração das amostras do revestimento. 56
Tabela 3: Composição dos meios de cultura adotados. 61
Tabela 4: Composição de mix PCR. 70
Tabela 5: Composição do caldo Sabouraud. 77
Tabela 6: Concentrações adotadas para os produtos utilizados no protocolo de limpeza e desinfecção. 83
Tabela 7: Dados microclimáticos do monitoramento – ambiente arquivo geral. 87
Tabela 8: Valores médios de temperatura mínima, máxima e umidade relativa exterior no ano de 2025 no município de Porto Alegre. 88
Tabela 9: Teor de umidade natural das amostras de argamassa. 91
Tabela 10: Dados obtidos da análise de reconstituição de traço das amostras. 93
Tabela 11: Distribuição dos agregados das amostras utilizadas para o ensaio de proporcionamento ligante-agregado. 94
Tabela 12: Descrição dos compostos identificados na análise de difração de raio-X. 97
Tabela 13: Composição de elementos químicos das amostras de argamassa por meio de fluorescência de raios X. 98
Tabela 14: Estimativa de Unidades Formadoras de Colônia (UFC/mL) – Coleta de verão. . 103
Tabela 15: Isolados selecionados para identificação por meio de microcultivo. 108
Tabela 16: Identificação molecular dos isolados fúngicos selecionados. 111
Tabela 17: Espécies fúngicas identificadas e sua dispersão microambiental. 112
Tabela 18: Percepção humana das variações colorimétricas. 122
Tabela 19: ΔE para os pontos tratados com ambas soluções. 130
Tabela 20: Quantificação da área de manchamento dos pontos tratados com solução de tetraborato de sódio decahidratado. 134
Tabela 21: Quantificação da área de manchamento dos pontos tratados com solução de hipoclorito de sódio. 134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a_w: atividade de água
BDA: Batata Dextrose Ágar
CMB: Concentração mínima biocida
CMI: Concentração mínima inibitória
$CaCO_3$: Carbonato de cálcio ou calcita
CO_2: Dióxido de carbono
ΔE: Variação de cor, considerando a escala tridimensional de cores e a luminosidade
ΔL: Variação de luminosidade
DG-18: *Dichloran glycerol chloramphenicol*
DNA: *Desoxyribonucleic Acid*
DRX: Difração de Raios X
DTG: Curva da Termogravimetria Derivada
FRX: Fluorescência de Raios X
FTIR: Espectroscopia de infravermelho por Transformada de Fourier
HS: Hipoclorito de sódio
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
ITS: *Internal Transcribed Spacer*
LAMTAC: Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído
LAS: *Linear Alkylbenzene Sulphonate*
NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
PCR: *Polymerase Chain Reaction*
pH: Potencial hidrogeniônico
PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura
RNA: *Rybonucleic Acid*
TBSDH: Tetraborato de sódio decahidratado
Ti: Medição inicial após aplicação
TG: Termogravimetria
UFC: Unidades Formadoras de Colônia
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UR: Umidade Relativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA 15
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA 18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 A BIODETERIORAÇÃO, SEUS AGENTES E OS BIOFILMES 19
2.2 FUNGOS FILAMENTOSOS 25
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS AGENTES BIOLÓGICOS 34
2.4 MÉTODOS DE CONTROLE FÍSICOS E QUÍMICOS 39
3 MÉTODO DE PESQUISA 44
3.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO 45
3.1.1 Objeto de estudo – Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo 45
3.1.2 Definição dos pontos de análise da edificação 49
3.2 ANÁLISE MICROAMBIENTAL 53
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO 55
3.3.1 Teor de umidade natural 56
3.3.2 Proporção ligante agregado e distribuição granulométrica 57
3.3.3 Ensaios complementares de caracterização 59
3.4 PROCEDIMENTOS DE COLETA E CARACTERIZAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS 60
3.4.1 Prospecção, coleta e isolamento 62
3.4.2 Identificação dos fungos filamentosos 65
3.4.3 Prospecção de microrganismos ambientais aerotransportados 66
3.4.4 Análises moleculares 68
3.5 ANÁLISE DO ESPECTRO DE AÇÃO DO TETRABORATO DE SÓDIO DECAHIDRATADO EM ISOLADO FÚNGICO 71
3.5.1 Análise com espectrofotômetro das coordenadas de cor do substrato 72
3.5.2 Análise digital por processamento de imagens 75

3.5.3 Concentração mínima inibitória e/ou biocida do composto 76
3.5.4 Aplicação da solução nas superfícies do substrato 80
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 85
4.1 ANÁLISE MICROAMBIENTAL 85
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO 91
4.2.1 Teor de umidade natural 91
4.2.2 Proporcionamento ligante/agregado 92
4.2.3 Distribuição granulométrica 93
4.2.4 Análises complementares de caracterização 96
4.3 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA 102
4.3.1 Prospecção, coletas e isolamento de fungos filamentosos 102
4.3.2 Identificação morfológica – microcultivo 107
4.3.3 Análises moleculares 111
4.4 ESPECTRO DE AÇÃO DO COMPOSTO ANALISADO 117
4.4.1 Concentração mínima inibitória 118
4.4.2 Protocolo de limpeza e desinfecção – Análises com espectrofotômetro 121
4.4.2.1 Comportamento sazonal das superfícies anteriormente à intervenção . 121
4.4.2.2 Efeitos após aplicação das soluções 124
4.4.2.3 Efeitos no decorrer do período de análises 127
4.4.3 Protocolo de limpeza e desinfecção - Processamento digital de imagens 133
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 136
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 139
REFERÊNCIAS 140
APÊNDICE A – Fichas das amostras do revestimento 152
APÊNDICE B – Fichas das coletas de material biológico 156
APÊNDICE C – Fichas de identificação dos isolados fúngicos 164
APÊNDICE D – Fichas de espectroscopia 178

APÊNDICE E - Fichas de processamento digital com *Image J* 186
APÊNDICE F – DADOS BRUTO 192

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da vida útil das edificações, ocorre o envelhecimento natural e eventuais danos aos materiais em virtude de reações físicas, químicas e biológicas, o que pode se tornar um fator crítico para a durabilidade e o uso desses materiais (Viitanen *et al*., 2010). Edificações históricas representam uma expressão importante do patrimônio humano e, por estarem sujeitas a processos de degradação, sua conservação tem se tornado uma preocupação central, visando à preservação da identidade e da continuidade cultural das sociedades (Motti; Bonanomi; Stinca, 2021; Gaylarde e Gaylarde, 2002). A ação da deterioração do meio e de organismos vivos compromete edificações históricas e contemporâneas: a atividade vital de comunidades microbianas em materiais construtivos é uma problemática diretamente associada a manifestações patológicas e à saúde de usuários de edificações comprometidas. Danos dessa natureza são definidos como biodeterioração, termo que se refere a qualquer processo resultante da atividade biológica que ocasione alterações ou degradações nos materiais (Hueck, 2001).

As mudanças climáticas intensificam o ciclo hidrológico e afetam padrões de precipitação, resultando em chuvas mais intensas e inundações em muitas regiões (Manandhar *et al*., 2023). Prieto *et al*. (2022) sinalizam que, como consequência das mudanças climáticas, eventos extremos de precipitação podem se tornar mais frequentes e intensos, destacando-se a incidência de chuvas impulsionadas pelo vento. Esse tipo de precipitação impacta diretamente a envoltória das edificações, podendo ocasionar a erosão superficial e facilitar a infiltração de umidade, que por sua vez favorece a biodeterioração em virtude da proliferação de fungos em ambientes interiores. Edificações com danos por umidade podem favorecer a amplificação microbiana no ambiente interno e o ar no interior pode conter uma matriz complexa, como a presença de fungos patogênicos, bactérias, micotoxinas e compostos orgânicos voláteis de origem biológica (Shoemaker e House, 2006).

Pinheiro *et al*. (2019) esclarecem que os fungos filamentosos são microrganismos produtores de ácidos que contribuem significativamente para a corrosão de superfícies, enfraquecendo a matriz do substrato ao longo do crescimento de suas estruturas e desenvolvimento das colônias. O ingresso excessivo de água nos sistemas construtivos das edificações, considerando fenômenos habituais ou extremos, associados às propriedades dos materiais, pode gerar zonas

localizadas com índice de umidade elevado. Essas condições podem comprometer a durabilidade dos materiais e, quando associadas a outros fatores, como a presença de fissuras ou a ação de sais solúveis, podem até mesmo ameaçar a integridade e a estabilidade dos elementos construtivos (Cacciotti, 2020).

A colonização fúngica em edificações sob condições de condensação flutuante é significativamente mais lenta quando relacionada à contaminação de rápida manifestação, observada em eventos de absorção capilar de água pelos materiais construtivos, como aqueles decorrentes de inundações ou outros danos viabilizados pela água (Pasanen *et al*., 2000). Viitanen *et al*. (2010) destacam que a presença de fungos no ambiente geralmente afeta a qualidade do ar adjacente, com compostos voláteis e esporos. A presença de colônias de fungos filamentosos, especialmente os seus metabólitos, pode representar não apenas uma problemática estética, mas também estar associada a sintomas como alergias, asma e infecções respiratórias (HE *et al*., 2018).

Avaliar condições como umidade, temperatura e características dos materiais e elementos construtivos são fundamentais para compreender as condições críticas necessárias para o início do crescimento biológico. Na prática, existem mais parâmetros que afetam o desenvolvimento de microrganismos, como a incidência de luz e ventilação no ambiente. Carvalho *et al*. (2018) apontam que, em ambientes fechados como salas de armazenamento de museus, a dispersão de esporos fúngicos e micélio é favorecida pela atividade regular de funcionários e sistemas de ventilação ineficientes. Os ambientes internos, nos quais os seres humanos passam grande parte do seu tempo, apresentam comunidades microbianas singulares, adaptadas às restrições de temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes (Flannigan; Samson; Miller, 2002).

As variações sazonais podem exercer impactos significativos sobre as comunidades fúngicas e suas atividades metabólicas relacionadas à biodeterioração dos materiais. A flutuação das condições microclimáticas pode favorecer a diversidade dessas comunidades em algumas estações, com cenários de temperatura e umidade relativa mais favoráveis (Nonthijun *et al*., 2023), o que potencializa os riscos associados a danos microestruturais, à perda patrimonial e a patologias clínicas. Segers *et al*. (2016) explicam que a diversidade de espécies fúngicas em ambientes externos é elevada (com destaque para representantes dos gêneros *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Penicillium*) e em regiões de clima temperado, a frequência desses fungos sofre influência das variações sazonais.

Materiais úmidos podem secar e se umedecer novamente e tais condições de umidade flutuante, com a penetração repetida ou prolongada de umidade na estrutura, contribui para danos no edifício (Viitanen *et al*., 2010). Guerra *et al*. (2019) ressaltam que, deve-se considerar a diversidade de agentes biológicos e mecanismos envolvidos em processos de biodeterioração, tendo-se em vista o material histórico e sua correlação com o microclima da edificação. Nesse contexto, a exploração e o exame por meio de métodos de caracterização são essenciais para o reconhecimento da composição taxonômica das espécies fúngicas associadas à biodeterioração.

O presente estudo se propõe a analisar o contexto que envolve fenômenos de biodeterioração por fungos filamentosos na superfície do revestimento inorgânico de uma edificação histórica após eventos extremos de precipitações que atingiram o estado do Rio Grande do Sul e resultaram em inundações. Para tanto, a pesquisa se volta a caracterização do revestimento construtivo inorgânico e identificação das principais comunidades fúngicas existentes nessas superfícies deterioradas. Por fim, a análise do espectro de ação do composto tetraborato de sódio decahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), popularmente conhecido como Bórax, como abordagem de intervenção por meio de elaboração e execução de protocolo de limpeza e desinfecção das superfícies ajustado à conjuntura estudada. A compreensão desses fatores é fundamental para o entendimento dos mecanismos que cercam essa conjuntura de biodeterioração do objeto de estudo: a edificação histórica sede do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Eventos hidrológicos extremos recentes, como as inundações ocorridas em 2024 no estado do Rio Grande do Sul, trouxeram à tona desafios complexos relacionados à conservação e recuperação de edificações expostas à umidade e à água contaminada. Diversas tipologias construtivas, como edificações convencionais e de caráter histórico, foram gravemente afetadas, sujeitas a períodos prolongados de umidade elevada, condições que oferecem um contexto propício para o desenvolvimento de microrganismos como fungos filamentosos presentes no ar e nas superfícies. Beata (2020) aponta que as alterações nos parâmetros ambientais associadas às mudanças climáticas podem provocar alterações na biocenose microbiana, na ativação de processos metabólicos e progressiva biodeterioração. Desse modo, é fundamental compreender as espécies de microrganismos presentes nos substratos, suas funções metabólicas, bem como o impacto das condições ambientais sobre essas comunidades.

Sterflinger e Pinãr (2013) destacam que esses microrganismos não causam apenas danos estéticos, como também colonizam e penetram nos materiais, ocasionando perdas em decorrência da corrosão de ácidos, degradação enzimática e ataques de natureza mecânica. Esses danos, intrinsicamente relacionados às suas atividades metabólicas, são influenciados pelas condições microambientais e macroambientais (Fidanza e Caneva, 2019).

Para além dos impactos à integridade dos sistemas construtivos, a colonização biológica representa um desafio à recuperação da habitabilidade e à conservação de bens culturais e patrimoniais. Nesse sentido, a NBR 15575 (ABNT, 2024) estabelece requisitos de desempenho para edificações, abrangendo aspectos como salubridade, higiene e qualidade do ar interior. O cumprimento desses requisitos está diretamente relacionado à adoção de estratégias eficazes de controle e mitigação do crescimento fúngico, especialmente em ambientes internos. Sedlbauer (2001) evidencia que o aumento de umidade é apontado como o fator mais crítico para o desenvolvimento de fungos em ambientes internos. Essa problemática recorrente é regularmente associada à condensação em superfícies, eventos como inundações ou infiltrações, o que pode comprometer a integridade dos materiais e da edificação como um todo (Kazemian *et al*., 2019).

Por conseguinte, a presença de umidade e o desenvolvimento de comunidades microbianas no interior de edificações pode amplificar os riscos de efeitos adversos à saúde. Os esporos fúngicos são componentes universais do ar atmosférico, estando naturalmente presentes em ambientes internos e externos e apresentando a capacidade de se desenvolver sobre diversos substratos, nos quais podem induzir processos de degradação. No entanto, Felgueiras *et al*. (2022) destacam que, para indivíduos imunologicamente sensibilizados, a contaminação por agentes aerotransportados, especialmente aqueles associados à umidade em ambientes internos, pode desencadear sintomas de inflamações respiratórias, dentre outros casos infecciosos. Adicionalmente, algumas espécies fúngicas podem colonizar tecidos humanos ou ocasionar danos indiretos por meio da produção de toxinas, enzimas e compostos orgânicos voláteis (Sahlberg *et al*. 2013).

Cirone *et al*. (2023) destacam que, para disponibilizar técnicas de intervenção e restauro a fim de impedir ou reduzir o desenvolvimento de agentes biodeteriorantes, é fundamental compreender as características do substrato, o tipo de colonização e os objetivos voltados às estratégias de tratamento. Destarte, a detecção e identificação das espécies fúngicas presentes

nos substratos são o primeiro passo para estabelecer a causa e o efeito de manifestações patológicas associadas à edificação (Andersen *et al*., 2011). No contexto das características climáticas do Sul do Brasil, a recorrência de eventos extremos e a presença de edificações em áreas vulneráveis, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos da biodeterioração. Desse modo, sendo a biodeterioração um processo que envolve a atividade vital de microrganismos, necessita-se compreender as condições favoráveis ao seu desenvolvimento nas superfícies de componentes e elementos construtivos, bem como o domínio dos meios de ação e suas complicações, a fim de oferecer medidas de remediação mais compatíveis e menos agressivas.

Verticchio *et al*. (2023) destacam que estudos de caráter interdisciplinar constituem a base mais adequada para a compreensão abrangente, o diagnóstico e a mitigação de diferentes tipos de deterioração, como em cenários de mudanças climáticas. O presente trabalho visa, ainda, abordar a preservação histórica em contexto de intervenções após eventos de inundações, destacando a importância da identificação e quantificação microbiológica. A escolha da edificação em estudo levou em conta que o Museu de Porto Alegre foi diretamente afetado pelas ações das inundações de 2024, com a lâmina de água chegando a um metro em alguns pontos, comprometendo não apenas as condições de conservação do revestimento, mas parte do acervo arqueológico da instituição, logo, numa ótica coletiva, do patrimônio histórico e cultural.

As análises elaboradas nesta pesquisa, mesmo que limitadas às manifestações patológicas quanto à biodeterioração por fungos filamentosos, visam alertar a importância da compreensão dessa problemática. A identificação das principais comunidades fúngicas presentes na superfície dos revestimentos afetados pela inundação, bem como a pesquisa pela compreensão da conjuntura microclimática que pode favorecer a problemática, além da análise da ação de soluções quanto à inibição de isolados fúngicos podem oferecer suporte à prescrição de medidas a fim de minimizar os impactos dessas manifestações. Em síntese, a pesquisa se fundamenta na contribuição para a conservação de edificações comprometidas por manifestações de comunidades fúngicas em revestimentos decorrentes da umidade excessiva, na necessidade de protocolos tecnicamente validados para limpeza e desinfecção de superfícies colonizadas e na relevância social e patrimonial dessa problemática.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O presente estudo tem por objetivo geral avaliar a biodeterioração por fungos filamentosos no revestimento inorgânico de uma edificação histórica, sede do Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, após os eventos de inundações de maio de 2024 em Porto Alegre - RS.

A fim de atender o objetivo principal, são traçados os seguintes objetivos específicos:

- monitorar, por meio de registros periódicos de umidade relativa do ar e temperatura, as condições microclimáticas do ambiente mais afetado pelo crescimento de fungos filamentosos na superfície do revestimento da edificação após as inundações, de modo a avaliar as condições favoráveis à manifestação desses microrganismos;
- caracterizar a composição do revestimento, originalmente inorgânico, da edificação representativa do século XIX e sua camada de acabamento;
- identificar, por meio de métodos de análise microbiológica e molecular, os fungos filamentosos cultiváveis mais frequentes nas superfícies do revestimento da edificação, considerando contextos sazonais;
- analisar o espectro de ação de solução de tetraborato de sódio decahidratado ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), por método orientativo de concentração mínima inibitória e/ou biocida;
- avaliar a ação de protocolo de limpeza e desinfecção adaptado, por meio de registros colorimétricos das superfícies tratadas.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 14419**: Couro – Determinação da resistência ao ataque fúngico por plaqueamento. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT. **NBR 14941**: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri sem lixiviação. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT. **NBR 15575-1**. Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. **NBR NM 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ADAMS, Rachel I. et al. Fungal signature of moisture damage in buildings: Identification by targeted and untargeted approaches with mycobiome data. **Applied and environmental microbiology**, v. 86, n. 17, p. e01047-20, 2020.

ADAN, Olaf CG; HUININK, Henk P.; BEKKER, Mirjam. Water relations of fungi in indoor environments. In: **Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living**. Wageningen Academic, 2011. p. 39-65.

ADAN, Olaf CG; SAMSON, Robert A. (Ed.). **Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living**. Springer, 2011.

ALLSOPP, D. SEAL, K.; GAYLARDE, C.; BENTO, F. M.; SHIRAKAWA, M.; SAAD, D. de S. **Introdução à biodeterioração**. Primeira edição. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

ALMEIDA, Ricardo MSF; BARREIRA, Eva. Monte Carlo simulation to evaluate mould growth in walls: the effect of insulation, orientation, and finishing coating. **Advances in civil engineering**, v. 2018, n. 1, p. 8532167, 2018.

ANDERSEN, B. et al. Associations between fungal species and water-damaged building materials. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 12, p. 4180–4188, 2011.

ANDERSEN, Birgitte et al. A pilot study on baseline fungi and moisture indicator fungi in Danish homes. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 2, p. 71, 2021.

ANDERSSON, Maria et al. Aspergillus was the dominant genus found during diversity tracking of potentially pathogenic indoor fungal Isolates. **Pathogens**, v. 11, n. 10, p. 1171, 2022.

ARNELL, Nigel W.; GOSLING, Simon N. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. **Climatic Change**, v. 134, n. 3, p. 387-401, 2016.

ASSMANN, Aleida. The future of cultural heritage and its challenges. In: **Cultural Sustainability**. Routledge, 2018. p. 25-35.

AYERST, G. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. **Journal of stored products research**, v. 5, n. 2, p. 127-141, 1969.

BASTHOLM, Camilla Jul et al. The mysterious mould outbreak-A comprehensive fungal colonisation in a climate-controlled museum repository challenges the environmental guidelines for heritage collections. **Journal of Cultural Heritage**, v. 55, n. May–June 2022, p. 78-87, 2022.

BAXI, Sachin N. et al. Exposure and health effects of fungi on humans. **The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice**, v. 4, n. 3, p. 396-404, 2016.

BEATA, Gutarowska. The use of-omics tools for assessing biodeterioration of cultural heritage: A review. **Journal of Cultural Heritage**, v. 45, p. 351-361, 2020.

BECERRA, Javier et al. Evaluation of the applicability of nano-biocide treatments on limestones used in cultural heritage. **Journal of cultural heritage**, v. 38, p. 126-135, 2019.

BERSCH, Jéssica Deise et al. Diagnosis of pathological manifestations and characterization of the mortar coating from the facades of historical buildings in Porto Alegre—Brazil: a case study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 15, n. 8, p. 1145-1169, 2021.

BETIOLI, A. M. Influência dos Polímeros MHEC e EVA na Hidratação e Comportamento Reológico de Pastas de Cimento Portland. 2007. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007

CACCIOTTI, R. Brick masonry response to wind driven rain. **Engineering Structures**, v. 204, p. 110080, 2020.

CAKMAK, Ismail; KURZ, Hannes; MARSCHNER, Horst. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995.

CANEVA, G.; NUGARI, M. P.; SALVADORI, O. **La biología en la restauración**. 2. ed. Tradução de Rosalía Gómez. Sevilla: NEREA, 2000. 274 p.

CAPPITELLI, Francesca; CATTÒ, Cristina; VILLA, Federica. The control of cultural heritage microbial deterioration. **Microorganisms**, v. 8, n. 10, p. 1542, 2020.

CARPINO, Cristina et al. Risk of fungal growth in nearly zero-energy buildings (nZEB). **Buildings**, v. 13, n. 7, p. 1600, 2023.

CARVALHO, Hugo Paiva de et al. Fungal contamination of paintings and wooden sculptures inside the storage room of a museum: Are current norms and reference values adequate?. **Journal of Cultural Heritage**, v. 34, p. 268-276, 2018.

CAZAROLLI, Juciana Clarice. Potencial deteriogênico da microbiota nativa de biodiesel de soja (RS), Brasil. 2019.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **L5.201**: Contagem de bactérias heterotróficas – Método de ensaio. São Paulo, 2006.

CHAROLA, A. Elena; MCNAMARA, Christopher; KOESTLER, Robert J. **Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods (Proceedings from the MCI Workshop Series)**. Smithsonian Institution Scholarly Press, 2011.

CIRONE, Martina et al. Innovative methodologies for the conservation of cultural heritage against biodeterioration: a review. **Coatings**, v. 13, n. 12, p. 1986, 2023.

COOLEY, J. Danny et al. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 55, n. 9, p. 579-584, 1998.

CORBU, Viorica Maria et al. Current insights in fungal importance—a comprehensive review. **Microorganisms**, v. 11, n. 6, p. 1384, 2023.

COUTINHO, M. L. et al. Microbial communities on deteriorated artistic tiles from Pena National Palace (Sintra, Portugal). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 84, p. 322-332, 2013.

COUTINHO, Mathilda L.; MILLER, Ana Z.; MACEDO, Maria F. Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview. **Journal of Cultural Heritage**, v. 16, n. 5, p. 759-777, 2015.

COZZOLINO, Alessia et al. The role of lichens, mosses, and vascular plants in the biodeterioration of historic buildings: A review. **Plants**, v. 11, n. 24, p. 3429, 2022.

CROOK, Brian; BURTON, Nancy C. Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. **Fungal Biology Reviews**, v. 24, n. 3-4, p. 106-113, 2010.

DAKAL, Tikam Chand; CAMEOTRA, Swaranjit Singh. Microbially induced deterioration of architectural heritages: routes and mechanisms involved. **Environmental Sciences Europe**, v. 24, p. 1-13, 2012.

DE MARIA, Vitor Peixoto Klienchen et al. Advances in ZnO nanoparticles in building material: Antimicrobial and photocatalytic applications–Systematic literature review. **Construction and Building Materials**, v. 417, p. 135337, 2024.

DERRICK, Michele R.; STULIK, Dusan; LANDRY, James M. **Infrared spectroscopy in conservation science**. Getty Publications, 2000.

DYDA, Magdalena et al. Diversity of biodeteriorative bacterial and fungal consortia in winter and summer on historical sandstone of the northern Pergola, museum of King John III's palace at Wilanow, Poland. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, p. 620, 2021.

EROFEEVA, Elena A. Plant hormesis and Shelford's tolerance law curve. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 5, p. 1789-1802, 2021.

ERPER, I.; YILDIRIM, E.; TÜRKKAN, M. Antifungal effect of boron compounds against three Rhizoctonia solani AG-4 subgroups causing root and crown rot. **Gesunde Pflanzen**, v. 71, n. 1, p. 61-71, 2019.

ESCH, Robert E.; CODINA, Rosa. Fungal raw materials used to produce allergen extracts. **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, v. 118, n. 4, p. 399-405, 2017.

EVERITT, Edward L.; SULLIVAN, M. X. The fungistatic and fungicidal action of certain organic sulphur compounds. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, v. 30, n. 3, p. 125-131, 1940.

FELGUEIRAS, Fátima et al. Airborne bacterial and fungal concentrations and fungal diversity in bedrooms of infant twins under 1 year of age living in Porto. **Environmental Research**, v. 206, p. 112568, 2022.

FIDANZA, Maria Rosaria; CANEVA, Giulia. Natural biocides for the conservation of stone cultural heritage: A review. **Journal of cultural heritage**, v. 38, p. 271-286, 2019.

FIORETTI, G. Avaliação de desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto à permeabilidade e alteração de cor. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FLANNIGAN, Brian; SAMSON, Robert A.; MILLER, J. David. **Microorganisms in home and indoor work environments: diversity, health impacts, investigation and control**. CRC press, 2002.

FUNG, Frederick; HUGHSON, William G. Health effects of indoor fungal bioaerosol exposure. **Applied occupational and environmental hygiene**, v. 18, n. 7, p. 535-544, 2003.

GADD, Geoffrey Michael et al. Geomycology: metals, actinides and biominerals. **Environmental Microbiology Reports**, v. 4, n. 3, p. 270-296, 2012.

GAYLARDE, C. C. et al. Biodeterioration of external architectural paint films–a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 65, n. 8, p. 1189-1198, 2011.

GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, P. M. Biodeterioration of historic buildings in Latin America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF MATERIALS AND COMPONENTS, 9., 2002. **Proceedings**... v. 2, p. 171/1-171/9, 2002.

GERBA, Charles P. Quaternary ammonium biocides: efficacy in application. **Applied and environmental microbiology**, v. 81, n. 2, p. 464-469, 2015.

GRANT, C. et al. The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. **International biodeterioration**, v. 25, n. 4, p. 259-284, 1989.

GREEN, Michael R.; SAMBROOK, Joseph. Molecular cloning. **A Laboratory Manual 4th**, v. 448, 2012.

GUERRA, Fernanda L. et al. Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. **Building and Environment**, v. 155, p. 195-209, 2019.

GUERRA, Fernanda L. et al. Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. **Building and Environment**, v. 155, p. 195-209, 2019.

GUERRA, Fernanda L. et al. Physicochemical characterization of historical coating mortars–case studies in South Brazil. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 16, n. 2, p. 242-260, 2022.

GUERRA, Fernanda Lamego et al. The effectiveness of spraying nTiO2 on Coating mortars in historical buildings aimed at reducing Fungal Growth. **Buildings**, v. 13, n. 11, p. 2751, 2023.

GUERRA, Fernanda Lamego. **Avaliação da eficiência de nanopartículas de TiO_2 no controle do crescimento de fungos filamentosos deteriorigênicos em argamassas históricas**. 2018. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Universiade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

GUILLITTE, Olivier. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. **Science of the total environment**, v. 167, n. 1-3, p. 215-220, 1995.

GULATI, Megha; NOBILE, Clarissa J. Candida albicans biofilms: development, regulation, and molecular mechanisms. **Microbes and infection**, v. 18, n. 5, p. 310-321, 2016.

HABIBI, Azadeh; SAFAIEFARAHANI, Banafsheh. Indoor damp surfaces harbor molds with clinical significance. **Current Medical Mycology**, v. 4, n. 3, p. 1, 2018.

HARDING, M. W. et al. Can filamentous fungi form biofilms?. **Trends in microbiology**, v. 17, n. 11, p. 475-480, 2009.

HE, Yuyan et al. Review on mould contamination and hygrothermal effect in indoor environment. **Journal of Environmental Protection**, v. 9, n. 02, p. 100, 2018.

HSU, Nai-Yun et al. Changes in profiles of airborne fungi in flooded homes in southern Taiwan after Typhoon Morakot. **Science of the total environment**, v. 409, n. 9, p. 1677-1682, 2011.

HUECK, H. J. The biodeterioration of materials—an appraisal. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 48, n. 1-4, p. 5-11, 2001.

JAKŠIĆ, Daniela et al. Cytotoxicity and genotoxicity of versicolorins and 5-methoxysterigmatocystin in A549 cells. **Archives of toxicology**, v. 86, n. 10, p. 1583-1591, 2012.

JAKŠIĆ, Daniela et al. Post-flood impacts on occurrence and distribution of mycotoxin-producing Aspergilli from the sections Circumdati, Flavi, and Nigri in indoor environment. **Journal of fungi**, v. 6, n. 4, p. 282, 2020.

JENSEN, Nickolaj Feldt et al. Laboratory-based investigation of the materials' water activity and pH relative to fungal growth in internally insulated solid masonry walls. **Indoor Air**, v. 31, n. 4, p. 1252-1266, 2021.

JENSEN, Nickolaj Feldt et al. Laboratory-based investigation of the materials' water activity and pH relative to fungal growth in internally insulated solid masonry walls. **Indoor Air**, v. 31, n. 4, p. 1252-1266, 2021.

JIANG, Liying et al. A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi. **Building and Environment**, v. 214, p. 108925, 2022.

JOHANSSON, Pernilla; SVENSSON, Thomas; EKSTRAND-TOBIN, Annika. Validation of critical moisture conditions for mould growth on building materials. **Building and Environment**, v. 62, p. 201-209, 2013.

JORNE, Fernando Jorge Fernandes. **Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

KARTAL, Saip Nami; MORRELL, Jeffrey J. Borates in remedial treatments for timber in service. **Journal of Boron**, v. 8, n. 1, p. 31-39, 2023.

KAUR, Harsimran et al. Cladosporium halotolerans: Exploring an Unheeded Human Pathogen. **Mycopathologia**, v. 188, n. 6, p. 1027-1040, 2023.

KAZEMIAN, Negin et al. Environmental factors influencing fungal growth on gypsum boards and their structural biodeterioration: A university campus case study. **PLoS One**, v. 14, n. 8, p. e0220556, 2019.

KIRTHIKA, S. K. et al. Review of the untapped potentials of antimicrobial materials in the construction sector. **Progress in Materials Science**, v. 133, p. 101065, 2023.

KOESTLER, Robert J.; WARSCHEID, Th; NIETO, F. Biodeterioration: risk factors and their management. 1997.

KOMAR, Michał et al. Metabolomic analysis of photosynthetic biofilms on building façades in temperate climate zones. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 169, p. 105374, 2022.

KOWALSKA-KROCHMAL, B., AND DUDEK-WICHER, R. The minimum inhibitory concentration of antibiotics: methods, interpretation, clinical relevance. Pathogens 10:165. 2021.

LAZO-JAVALERA, M. F. et al. Surface disinfection procedure and in vitro regeneration of grapevine (Vitis vinifera L.) axillary buds. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 453, 2016.

LECH, T.; ZIEMBINSKA-BUCZYNSKA, A.; KRUPA, N. Analysis of microflora present on historical textiles with the use of molecular techniques. **International Journal of Conservation Science**, v. 6, n. 2, p. 137–144, 2015.

LI, Yongcai et al. Antifungal effect of borates against Fusarium sulphureum on potato tubers and its possible mechanisms of action. **Postharvest biology and technology**, v. 74, p. 55-61, 2012.

LLOYD, J. D. **Borates and their biological applications**. Stockholm Sweden: IRG Secretariat, 1998.

LOPES, William et al. Geometrical distribution of Cryptococcus neoformans mediates flower-like biofilm development. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 2534, 2017.

LOUKOU, Evangelia et al. Damp buildings: associated fungi and how to find them. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 2, p. 108, 2024.

MANANDHAR, Bikram et al. Post-flood resilience assessment of July 2021 flood in western Germany and Henan, China. **Land**, v. 12, n. 3, p. 625, 2023.

MANOHARACHARY, C. et al. **Mycology and microbiology (A textbook for UG and PG courses)**. Scientific Publishers, 2016.

MARTINEZ, M. et al. Microbiological studies of biofilm present on stones from the National Museum building, Bogotá, Colombia. **Molecular biology and cultural heritage**, p. 259-262, 2003.

MASCALCHI, Marta et al. Assessment of different methods for the removal of biofilms and lichens on gravestones of the English Cemetery in Florence. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 154, p. 105041, 2020.

MASCARO, Maria Emanuela; PELLEGRINO, Giuseppe; PALERMO, Anna Maria. Analysis of biodeteriogens on architectural heritage. An approach of applied botany on a gothic building in southern Italy. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 34, 2021.

MENSAH-ATTIPOE, J. et al. Susceptibility of green and conventional building materials to microbial growth. **Indoor Air**, v. 25, n. 3, p. 273-284, 2015.

MENSAH-ATTIPOE, Jacob; TOYINBO, Oluyemi. Fungal growth and aerosolization from various conditions and materials. In: **Fungal infection**. IntechOpen, 2019.

MIKKOLA, Raimo et al. Toxic indole alkaloids avrainvillamide and stephacidin B produced by a biocide tolerant indoor mold Aspergillus westerdijkiae. **Toxicon**, v. 99, p. 58-67, 2015.

MOORE, David; ROBSON, Geoffrey D.; TRINCI, Anthony P. J. **21st Century Guidebook to Fungi**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.

MOTTI, Riccardo; BONANOMI, Giuliano; STINCA, Adriano. Biodeteriogens at a southern Italian heritage site: Analysis and management of vascular flora on the walls of Villa Rufolo. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 162, p. 105252, 2021.

NADAL, Norberto C. et al. Building damage due to riverine and coastal floods. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. 3, p. 327-336, 2010.

NEGI, Abhishek; SARETHY, Indira P. Microbial biodeterioration of cultural heritage: events, colonization, and analyses. **Microbial ecology**, v. 78, n. 4, p. 1014-1029, 2019.

NIELSEN, Kristian Fog. Mycotoxin production by indoor molds. **Fungal genetics and biology**, v. 39, n. 2, p. 103-117, 2003.

NONTHIJUN, Paradha et al. Seasonal Variations in Fungal Communities on the Surfaces of Lan Na Sandstone Sculptures and Their Biodeterioration Capacities. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 8, p. 833, 2023.

NOWICKA-KRAWCZYK, Paulina; KOMAR, Michał; GUTAROWSKA, Beata. Towards understanding the link between the deterioration of building materials and the nature of aerophytic green algae. **Science of the Total Environment**, v. 802, p. 149856, 2022.

NOWICKA-KRAWCZYK, Paulina; ŻELAZNA-WIECZOREK, Joanna; KOŹLECKI, Tomasz. Silver nanoparticles as a control agent against facades coated by aerial algae—A model study of Apatococcus lobatus (green algae). **PLoS One**, v. 12, n. 8, p. e0183276, 2017.

NUGARI, M. P.; SALVADORI, O. Biodeterioration control of cultural heritage: Methods and products. **Molecular biology and cultural heritage**, p. 233-242, 2003.

PANICH, Wasin et al. Evaluation of semi-quantitative colorimetric assays based on loop-mediated isothermal amplification indicators by using image analysis. **Analytical Biochemistry**, v. 688, p. 115481, 2024.

PASANEN, Anna-Liisa et al. Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 46, n. 2, p. 117-127, 2000.

PASANEN, Pertti; KALLIOKOSKI, Pentti; PASANEN, Anna-Liisa. The effectiveness of some disinfectants and detergents against microbial activity. **Building and Environment**, v. 32, n. 3, p. 281-287, 1997.

PASQUARELLA, C.; PITZURRA, O.; SAVINO, Angelo. The index of microbial air contamination. **Journal of hospital infection**, v. 46, n. 4, p. 241-256, 2000.

PAULUS, Wilfried. **Microbicides for the protection of materials: a handbook**. Springer Science & Business Media, 2012.

PIECKOVÁ, Elena; KUNOVÁ, Zuzana. Indoor fungi and their ciliostatic metabolites. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 9, n. 1, 2002.

PINHEIRO, Ana Catarina et al. Limestone biodeterioration: A review on the Portuguese cultural heritage scenario. **Journal of cultural heritage**, v. 36, p. 275-285, 2019.

PINNA, Daniela. Coping with biological growth on stone heritage objects: methods, products, applications, and perspectives. **Apple Academic Press**, 2017.

PIONTEK, Marlena; ŁUSZCZYŃSKA, Katarzyna; LECHÓW, Hanna. Occurrence of the toxin-producing Aspergillus versicolor Tiraboschi in residential buildings. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 9, p. 862, 2016.

POLIZZI, Viviana et al. JEM Spotlight: Fungi, mycotoxins and microbial volatile organic compounds in mouldy interiors from water-damaged buildings. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 11, n. 10, p. 1849-1858, 2009.

PRIETO, B. et al. Role of masonry fabric subsurface moisture on biocolonisation. A case study. **Building and Environment**, v. 210, p. 108690, 2022.

PRIETO, Beatriz et al. Current knowledge regarding biological recolonization of stone cultural heritage after cleaning treatments. **Journal of Building Engineering**, v. 87, p. 109091, 2024.

PYRRI, Ioanna et al. Fungal contaminants of indoor air in the National Library of Greece. **Aerobiologia**, v. 36, n. 3, p. 387-400, 2020.

PYZIK, Adam et al. The bad and the good—microorganisms in cultural heritage environments—an update on biodeterioration and biotreatment approaches. **Materials**, v. 14, n. 1, p. 177, 2021.

RAMIREZ-PEREZ, Javier Christian et al. Impact of silver nanoparticles size on SERS for detection and identification of filamentous fungi. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 272, p. 120980, 2022.

RAMOS, Nuno MM; DE FREITAS, Vasco Peixoto. The evaluation of hygroscopic inertia and its importance to the hygrothermal performance of buildings. In: **Heat and Mass Transfer in Porous Media**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 25-45.

RANALDI, Roberta et al. Plant essential oils suspended into hydrogel: Development of an easy-to-use protocol for the restoration of stone cultural heritage. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 172, p. 105436, 2022.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Técnicas aplicáveis a trabalhos de restauração de prédios de interesse histórico e cultural.** Porto Alegre: IPSDP, 2014.

RIBAS, Rodolfo et al. Characterization of antimicrobial effect of organotin-based catalysts on diesel–biodiesel deteriogenic microorganisms. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 12, p. 802, 2020.

RIDDELL, Roland W. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. **Mycologia**, v. 42, n. 2, p. 265-270, 1950.

RODEN, A.; MOTA, B.; VIANA, D.; FONSECA, D.; POLESELLO, E.; PINTO, M.; MUÑOZ N. S. Contribuição ao estudo da evolução construtiva e da manutenção da conservação do monumento Igreja Nossa Senhora das Dores. **Trabalho acadêmico da disciplina: Patologia das Edificações - PPGEC-NORIE-UFRGS**. Porto Alegre, 2009.

RUTALA, William A.; WEBER, David J. Monitoring and improving the effectiveness of surface cleaning and disinfection. **American journal of infection control**, v. 44, n. 5, p. e69-e76, 2016.

SAHLBERG, Bo et al. Airborne molds and bacteria, microbial volatile organic compounds (MVOC), plasticizers and formaldehyde in dwellings in three North European cities in relation to sick building syndrome (SBS). **Science of the total environment**, v. 444, p. 433-440, 2013.

SAMSON, Robert A. et al. **Food and indoor fungi**. Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2019.

SANMARTÍN, Patricia; DEARAUJO, Alice; VASANTHAKUMAR, Archana. Melding the old with the new: trends in methods used to identify, monitor, and control microorganisms on cultural heritage materials. **Microbial Ecology**, v. 76, n. 1, p. 64-80, 2018.

SANMARTÍN, Patricia; RODRÍGUEZ, A.; AGUIAR, U. Medium-term field evaluation of several widely used cleaning-restoration techniques applied to algal biofilm formed on a granite-built historical monument. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 147, p. 104870, 2020.

SAVKOVIĆ, Željko et al. In vitro biodegradation potential of airborne Aspergilli and Penicillia. **The Science of Nature**, v. 106, n. 3, p. 8, 2019.

SEDLBAUER, Klaus. Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. **Fraunhofer Institute for Building Physics**, v. 9, n. 2, p. 75-141, 2001.

SEDLBAUER, Klaus; KRUS, Martin. Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht. **Fraunhofer-Institut fü r Bauphysik**, Holzkirchen, v. 45, 2003.

SEGERS, Frank JJ et al. The indoor fungus Cladosporium halotolerans survives humidity dynamics markedly better than Aspergillus niger and Penicillium rubens despite less growth at lowered steady-state water activity. **Applied and environmental microbiology**, v. 82, n. 17, p. 5089-5098, 2016.

SENANAYAKE, I. C. et al. Morphological approaches in studying fungi: Collection, examination, isolation, sporulation and preservation. **Mycosphere**, v. 11, n. 1, p. 2678-2754, 2020.

SEO, Sung-Chul et al. Aerosolization of particulate (1→ 3)-β-D-glucan from moldy materials. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 3, p. 585-593, 2008.

SHELFORD, Victor E. Some concepts of bioecology. **Ecology**, v. 12, n. 3, p. 455-467, 1931.

SHI, Xue-Qun et al. Antifungal activity and possible mode of action of borate against Colletotrichum gloeosporioides on mango. **Plant disease**, v. 95, n. 1, p. 63-69, 2011.

SHIRAKAWA, Márcia Aiko et al. The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 51, n. 2, p. 83-92, 2003.

SHOEMAKER, Ritchie C.; HOUSE, Dennis E. Sick building syndrome (SBS) and exposure to water-damaged buildings: time series study, clinical trial and mechanisms. **Neurotoxicology and teratology**, v. 28, n. 5, p. 573-588, 2006.

SILVA, ACSB; GIRALT, R. P. Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 95, 1995.

SONG, Shu et al. Recent developments in the medicinal chemistry of single boron atom-containing compounds. **Acta Pharmaceutica Sinica B**, v. 11, n. 10, p. 3035-3059, 2021.

SØRENSEN, Louise Marie et al. Mycobiota in the processing areas of two different meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 124, n. 1, p. 58-64, 2008.

SOUSA, V.; PEREIRA, F. D.; BRITO, J. DE. Rebocos Tradicionais : Principais Causas de Degradação. **Engenharia Civil**, UM, v. 23, p. 5–18, 2005.

STANASZEK-TOMAL, Elżbieta. Environmental factors causing the development of microorganisms on the surfaces of national cultural monuments made of mineral building materials. **Coatings**, v. 10, n. 12, p. 1203, 2020.

STERFLINGER, Katja. Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage. **Fungal biology reviews**, v. 24, n. 1-2, p. 47-55, 2010.

STERFLINGER, Katja; PIÑAR, Guadalupe. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art—tilting at windmills?. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 97, p. 9637-9646, 2013.

STERFLINGER, Katja; PINZARI, Flavia. The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment. **Environmental Microbiology**, v. 14, n. 3, p. 559-566, 2012.

STEWART, Philip S.; FRANKLIN, Michael J. Physiological heterogeneity in biofilms. **Nature reviews microbiology**, v. 6, n. 3, p. 199-210, 2008.

ST-GERMAIN, Guy; SUMMERBELL, Richard C. **Identifying filamentous fungi**: a clinical laboratory handbook. 2. ed. Belmont, CA: Star Publishing Company, 2011. 377 p.

STOJANOVIĆ, Jelica et al. Influence of detergent on metabolic activity of fungi Aspergillus niger. **Natural Science**, v. 3, n. 6, p. 466-470, 2011.

STUART, Barbara H. **Infrared spectroscopy: fundamentals and applications**. John Wiley & Sons, 2004.

ŠVAJLENKA, Jozef; KOZLOVSKÁ, Mária; POŠIVÁKOVÁ, Terézia. Assessment and biomonitoring indoor environment of buildings. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 27, n. 5, p. 427-439, 2017.

TIANO, Piero. Biodegradation of cultural heritage: decay mechanisms and control methods. In: **Seminar article, new university of Lisbon, Department of Conservation and Restoration**. 2002. p. 7-12.

TOLEDO, Franciza Lima. **The role of architecture in preventive conservation**. Roma: ICCROM, 2006.

UNTERWURZACHER, Verena et al. Validation of a quantitative PCR based detection system for indoor mold exposure assessment in bioaerosols. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 20, n. 10, p. 1454-1468, 2018.

VERMELHO, Alane Beatriz et al. **Práticas de Microbiologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. 208 p.

VERTICCHIO, Elena et al. Assessing the impact of climate change on the biodeterioration risk in historical buildings of the mediterranean area: the state archives of Palermo. **Atmosphere**, v. 14, n. 7, p. 1169, 2023.

VIITANEN, Hannu et al. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. **Journal of building physics**, v. 33, n. 3, p. 201-224, 2010.

WARSCHEID, Th; BRAAMS, Joanna. Biodeterioration of stone: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 46, n. 4, p. 343-368, 2000.

WOODS, William G. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. **Environmental health perspectives**, v. 102, n. Suppl 7, p. 5, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines for indoor air quality**: dampness and mould. Geneva: World Health Organization, 2009.

WU, Fasi et al. Community assembly, potential functions and interactions between fungi and microalgae associated with biodeterioration of sandstone at the Beishiku Temple in Northwest China. **Science of The Total Environment**, v. 835, p. 155372, 2022.

YIN, Robert K. **Case study research and applications**. Thousand Oaks, CA: Sage, 2017.

ZHAO, Dan et al. Chemical composition of material extractives influences microbial growth and dynamics on wetted wood materials. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 14500, 2020.

ZIMMER, A. & BENTO, F.B. Seleção de biocidas para uso em misturas diesel-biodiesel in Coletânea Estudos Ambientais e Agronômicos: resultados para o Brasil / Camila Pinheiro Nobre e Anna Christina Sanazario de Oliveira (Org.). — São Luís: EditoraPascal LTDA,. 330 f. P 25-47. 2020; il. – (Estudos Ambientais e Agronômicos; v. 1).