

Vivianne Maria de Freitas 

Mestranda em Turismo e Patrimônio /
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
viviannefreitas@gmail.com

Marina Furtado Gonçalves 

Professora Adjunta / Universidade Federal da
Bahia (UFBA)
marinagoncalves@ufba.br

Camila Benatti 

Professora Adjunta / Universidade Estadual de
Mato Grosso do Sul (UEMS)
camila.benatti@uems.br

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BIODETERIORAÇÃO DE DOCUMENTOS GRÁFICOS

Resumo

A preservação do patrimônio documental gráfico enfrenta um novo paradigma diante da crise climática global. O presente estudo investiga a dinâmica da biodeterioração em materiais como celulose, colágeno e aglutinantes, analisando como as flutuações microclimáticas extremas podem acelerar a atividade de macro e microrganismos. A partir de uma revisão bibliográfica que une autores de referência na área da conservação preventiva, como Cassares, Spinelli e Beck, com pesquisas contemporâneas, como Querner, Jaddaoui e Zhang, o trabalho analisa os mecanismos de degradação enzimática impulsionados por fungos e insetos sob novas condições termodinâmicas. A pesquisa detalha o comportamento metabólico destes agentes, correlacionando sua ação com fatores extrínsecos intensificados pelas mudanças climáticas, nomeadamente a temperatura e a umidade relativa. A revisão bibliográfica sintetiza evidências de que flutuações microclimáticas exacerbam a biodeterioração via sinergia entre fatores ambientais e nutricionais dos suportes. Discute-se a evolução das abordagens de tratamento, destacando a futura obsolescência de métodos químicos tóxicos em favor de estratégias de "conservação verde", como o monitoramento preventivo baseado em dados e o tratamento por anóxia. Conclui-se que a gestão eficaz em tempos de mudança climática exige uma postura proativa, em que o controle ambiental preventivo prevalece sobre a intervenção direta no objeto.

Palavras-chave: Biodeterioração; Mudanças Climáticas; Conservação Preventiva; Acervos

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE BIODETERIORATION OF GRAPHIC DOCUMENTARY

Abstract

The preservation of graphic documentary heritage faces a new paradigm due to the global climate crisis. This study investigates the dynamics of biodeterioration in organic materials, such as cellulose, collagen, and binders, analyzing how extreme microclimatic fluctuations accelerate the activity of macro and microorganisms. Based on a comprehensive literature review that integrates foundational conservation authors with contemporary research, the paper examines enzymatic degradation mechanisms driven by fungi and insects under shifting thermodynamic conditions. The research details the metabolic behavior of these agents, correlating their action with extrinsic factors intensified by climate change, specifically temperature and relative humidity. The synthesis of evidence demonstrates that microclimatic fluctuations exacerbate biodeterioration through a synergy between environmental factors and the nutritional properties of the supports. Furthermore, the study discusses the evolution of treatment approaches, highlighting the transition from toxic chemical methods toward "green conservation" strategies, such as data-driven preventive monitoring and anoxia. It concludes that effective heritage management in the era of climate change requires a proactive stance, where preventive environmental control takes precedence over direct intervention on the object.

Keywords: Biodeterioration; Climate Change; Preventive Conservation; Organic Collections; Enzymes.

INTRODUÇÃO

A preservação do patrimônio cultural transcende a manutenção da integridade física; é um ato político e científico de salvaguarda da memória coletiva da humanidade. Contudo, a materialidade que sustenta essa memória é instável. Como os documentos gráficos são compostos por materiais orgânicos higroscópicos, como a celulose, o colágeno e aglutinantes naturais, os acervos comportam-se como sistemas dinâmicos que reagem continuamente às variáveis ambientais.

Historicamente, a Conservação Preventiva fundamentou-se no paradigma da estabilidade artificial, preconizando parâmetros rígidos de 20°C a 22°C e 45% a 55% de UR (Beck, 1985; Cassares, 2000). Entretanto, o Antropoceno impõe o desafio da crise climática global, marcada pelo aumento da frequência de eventos extremos. Ondas de calor e flutuações bruscas de umidade geram instabilidade microclimática em instituições sediadas em edifícios históricos sem isolamento ou climatização sustentável, favorecendo a ação de agentes biológicos.

Segundo Cardoso (2022), a biodeterioração compreende mudanças indesejáveis nas propriedades de um material causadas pela atividade biológica. Esses danos podem ocorrer de forma individual ou conjunta (Leipnitz, 2007), aliados a fatores físicos e químicos. O presente artigo estrutura-se sobre duas premissas complementares. A primeira reconhece que a biodeterioração em acervos brasileiros é um problema crônico, resultante da inadequação entre o clima tropical úmido (22-28°C; UR >70%) e infraestruturas de guarda vulneráveis, situação que persiste em grande parte das instituições públicas sediadas em prédios históricos (Beck, 1985; Cassares, 2000).

Paralelamente, a segunda premissa considera as projeções do Sexto Relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2021), que indicam a intensificação de eventos extremos na América do Sul e uma elevação térmica de 1,5 a 2°C até 2050. Estudos europeus recentes (Leissner *et al.*, 2015; Bonazza e Sardella, 2023; Sitzia *et al.*, 2023) demonstram correlações diretas entre o aquecimento global e o aumento de horas favoráveis à germinação fúngica em prédios não climatizados, prevendo um incremento de 20% a 40% na biodeterioração, sendo necessária cautela na extrapolação dos dados ao serem implementados no Brasil, devido ao clima predominantemente tropical úmido e a ausência de estudos com séries temporais locais.

Neste cenário, o estudo investiga, por meio de revisão narrativa, os mecanismos pelos quais flutuações microclimáticas aceleram a cinética da deterioração em suportes orgânicos. A análise correlaciona a microbiologia aplicada, taxonomia e reações enzimáticas, com projeções climáticas e a conservação adaptativa. Discute-se, ainda, a viabilidade de estratégias de "conservação verde", como óleos essenciais, anóxia e monitoramento digital, contextualizando-as à economia brasileira. O objetivo é identificar lacunas e propor uma agenda de pesquisa para a transição de uma gestão reativa para uma preditiva de riscos em acervos documentais gráficos gerados pelas mudanças climáticas.

METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão narrativa crítica de literatura sobre a biodeterioração de documentos gráficos no contexto das mudanças climáticas, focada em acervos orgânicos (celulose, colágeno e aglutinantes). A metodologia seguiu quatro etapas: busca sistemática, triagem, análise qualitativa e síntese temática. O levantamento ocorreu entre outubro e dezembro de 2025 nas bases Scopus, *Web of Science*, SciELO, *Google Scholar* e Portal de Periódicos CAPES, sendo complementado por documentos técnicos de organizações internacionais (ICCROM, IIC, IPI) e nacionais (IPHAN, Arquivo Nacional, Fundação Biblioteca Nacional). As estratégias de busca cruzaram descritores e palavras-chave em português e inglês com operadores booleanos, com os seguintes termos: "*climate change*", "*biodeterioration*", "*heritage*", "*fungi*", "*paper*", "*integrated pest management*" e "*microclimate*".

Priorizou-se o recorte de 2015 a 2025, incluindo obras brasileiras clássicas de 1985 a 2000 (Beck, Cassares, Spinelli) para contextualização e comparação evolutiva. Os critérios de inclusão contemplaram estudos sobre mecanismos bioquímicos em materiais orgânicos e os efeitos de temperatura, umidade e poluentes no patrimônio documental. Também se consideraram métodos de controle e revisões sobre conservação preventiva, priorizando estudos em países tropicais e publicações em cinco idiomas. Em contrapartida, excluíram-se pesquisas sobre patrimônio construído, arqueológico ou materiais inorgânicos, além de trabalhos sem revisão por pares ou artigos de opinião sem dados empíricos.

Identificaram-se 127 registros e, após excluir 19 duplicatas, triaram-se 108 títulos e resumos; 60 foram descartados por idioma ou irrelevância temática. Dos 48 textos lidos integralmente, 16 foram removidos por limitações metodológicas, resultando em 32 estudos contemporâneos e 16 obras de referência clássicas, totalizando 48 fontes. A síntese qualitativa organizou-se em cinco eixos: (1) composição material e mecanismos bioquímicos; (2) taxonomia e fisiologia de agentes biológicos; (3) influência de variáveis ambientais e mudanças climáticas; (4) estratégias de controle; e (5) contexto brasileiro e diversidade regional.

Por fim, a análise evidenciou a escassez de dados brasileiros (seis de 48 estudos) e um viés geográfico predominante na Europa (58%) e América do Norte (23%), o que exige cautela na extrapolação ao clima tropical. A heterogeneidade metodológica e a ausência de análises econômicas na amostra limitaram recomendações pragmáticas, fundamentando a proposta de uma agenda de pesquisa futura para a área.

COMPOSIÇÃO MATERIAL DOS ACERVOS DE DOCUMENTOS GRÁFICOS

Para compreender a complexidade da biodeterioração, deve-se considerar os acervos de documentos gráficos não como objetos inanimados, mas como ecossistemas nutricionais disponíveis para colonização. A vulnerabilidade de um acervo decorre de sua composição físico-química e de sua "biorreceptividade", ou seja, a aptidão de um material para ser colonizado por organismos vivos (Guimarães; Rezende Filho, 2008). Estudos recentes sobre o impacto climático no patrimônio reforçam que essa biorreceptividade não é estática, sendo amplificada por condições de estresse ambiental (Sitzia *et al.*, 2023). Assim, parte-se da materialidade dos acervos para relacioná-los aos agentes de deterioração. Os documentos gráficos, em suportes como livros e obras de arte, geralmente apresentam compostos de celulose (papel, papiro) ou colágeno (pergaminho). Tais suportes podem receber encolagens¹ e tintas orgânicas, o que amplia a gama de materiais intrínsecos e potencializa a biodeterioração.

O papel constitui-se majoritariamente de celulose, carboidrato que se organiza de forma cristalina ou amorfa. As regiões cristalinas, com moléculas bem

¹ Aplicação interna ou superficial de substância adesiva no papel com o objetivo de garantir determinadas propriedades físicas, como a melhor união das fibras e a resistência controlada à entrada de líquidos (Bojanoski e Almada, 2021).

orientadas e resistentes à solvatação, garantem a rigidez do polímero. Já as regiões amorfas são susceptíveis à penetração de água, iniciando a deterioração celulósica principalmente via hidrólise ácida (Gonçalves, 2015). A estabilidade e a resistência mecânica do papel dependem do grau de polimerização e da integridade das ligações intermoleculares (Silva, 2012). Contudo, a celulose é a fonte primária de carbono para agentes biológicos como fungos e bactérias, que realizam digestão extracelular secretando o complexo enzimático celulase. Nele, as endoglucanases atacam as regiões amorfas, reduzindo o grau de polimerização; as exoglucanases atuam nas extremidades das cadeias, liberando celobiose; e as β -glicosidases hidrolisam a celobiose em glicose, absorvida para produção de energia (Ranjan *et al.*, 2023). O resultado macroscópico dessa reação é a perda de resistência mecânica e o surgimento de manchas. O suporte torna-se friável, pulverulento e rasga-se facilmente. Além da hidrólise enzimática, o metabolismo fúngico libera ácidos orgânicos (cítrico, oxálico e fumárico), responsáveis por manchas de *foxing*² que comprometem a estética e acidificam o pH do papel, acelerando seu envelhecimento (Cassares, 2000; Skóra *et al.*, 2023).

Além da celulose, acervos contêm colágeno em pergaminhos e couros, proteína fibrosa estabilizada por ligações de hidrogênio (Malea *et al.*, 2024). Higroscópico, o colágeno absorve água e incha sob alta umidade, comum em precipitações intensas em regiões tropicais. Sob altas temperaturas, pode ocorrer a desnaturação térmica (encolhimento) ou a hidrólise, transformando o colágeno estável em gelatina amorfa. Esta substância nutre microrganismos proteolíticos e bactérias liquefadoras, como as do gênero *Bacillus*. Liu *et al.* (2022) destacam que a formação de biofilmes bacterianos nessas condições acelera a deterioração do suporte. Em livros, além da perda física da encadernação, agora pulverulenta, liberam-se compostos amoniacais e ácidos graxos voláteis que podem migrar para a parte interna do livro, catalisando a deterioração química do suporte celulósico (Spinelli, 1997).

Frequentemente, a biodeterioração inicia-se em materiais como colas presentes no papel, e não na celulose. Colas de amido ou animais atuam como gatilhos biológicos; nutricionalmente, o amido e as proteínas solúveis são

² O *foxing* é caracterizado por “manchas pontuais de cor marrom-avermelhada que se espalham pela superfície do papel. Não existe estudo conclusivo sobre a origem do *foxing*, mas pode estar relacionada a múltiplas causas, como a ação de microrganismos, substâncias presentes na manufatura do papel e ação da umidade” (Bojanoski e Almada, 2021, p. 40).

fontes de carbono e nitrogênio de assimilação mais rápida que a celulose cristalina (Borges *et al.*, 2018). Insetos como traças (*Thysanura*) e baratas (*Blattodea*) são atraídos por esses aglutinantes (Cardoso, 2022). Ao consumirem a encolagem, esses macroorganismos abrem "portas de entrada" físicas para a colonização posterior de fungos e bactérias, estabelecendo uma sucessão ecológica que culmina na perda material do bem cultural. Nutrientes e agentes biológicos são constantes em instituições de guarda; o ambiente, porém, determina a transição da latência para a deterioração ativa. A velocidade e a severidade do ataque biológico regem-se pelas leis da termodinâmica e da cinética química, moduladas drasticamente pelas mudanças climáticas.

OS AGENTES DE DETERIORAÇÃO E A ATUAÇÃO SOBRE OS ACERVOS DE DOCUMENTOS GRÁFICOS

De acordo com a bibliografia especializada na área de conservação preventiva há dez agentes de deterioração que podem atuar sobre os acervos, sendo eles: forças físicas, roubo/vandalismo, dissociação, fogo, água, poluentes, temperatura, umidade relativa, luz/UV e as pragas (Pedersoli Jr. *et al.*, 2017). A depender da tipologia dos acervos, esses agentes atuam de forma mais incisiva sobre a materialidade dos objetos. Para os documentos gráficos, sobretudo relacionado à biodeterioração, destacam-se a temperatura, a luz, a umidade relativa, os poluentes e, por fim, as pragas.

Conforme Cardoso (2022), a temperatura atua como catalisador dos processos de deterioração. De acordo com Antunes (2024), a velocidade da maioria das reações químicas, incluindo as reações enzimáticas que sustentam o metabolismo de fungos e insetos, dobra a cada aumento de 10 °C na temperatura ambiente. Sitzia *et al.* (2023) corroboram que, no contexto das mudanças climáticas, esse princípio termodinâmico explica a aceleração das taxas de biodeterioração observadas globalmente.

Em um cenário de aquecimento global, em que edifícios de guarda sem climatização adequada experimentam médias térmicas cada vez mais altas, as consequências são diretas. Há uma aceleração do ciclo de vida dos insetos, uma vez que, em animais ectotérmicos (cujo calor corporal depende do ambiente), o aumento da temperatura encurta o tempo de incubação dos ovos e acelera o desenvolvimento larval. Isso permite que pragas como brocas (*Anobiidae*) e traças completem mais ciclos reprodutivos por ano, resultando

em explosões populacionais rápidas e difíceis de controlar. Outro ponto a ser observado é que as enzimas fúngicas possuem uma temperatura ótima de atuação. O aquecimento global desloca a temperatura interna dos acervos para faixas entre 25°C a 30°C, nas quais a atividade das celulases e proteases é máxima, tornando a digestão do papel mais eficiente e destrutiva (Sitzia *et al.*, 2023).

Outro agente de deterioração que corrobora com a deterioração dos acervos documentais gráficos é a luz em seus diversos comprimentos de onda. O principal efeito da luz sobre o papel, sobretudo a radiação ultravioleta (UV), cujos fótons são mais energéticos do que os de luz visível, é o amarelecimento. Nos microrganismos autotróficos e células pigmentadas, as radiações são mais visíveis devido a capacidade de captar energia. Desta forma, a iluminação inadequada faz com que haja o desenvolvimento de microrganismos (Cardoso, 2022).

De acordo com Seripierri (2005), qualquer exposição à luz, mesmo por um curto período, gera danos cumulativos e irreversíveis, pois as reações fotoquímicas iniciadas continuam a ocorrer mesmo após a remoção da fonte luminosa. A oxidação da celulose provoca o enfraquecimento e o enrijecimento das fibras, além de ocasionar descoloração, amarelecimento ou escurecimento do suporte. Esses processos também resultam no esmaecimento das cores das tintas, modificando a aparência de textos, fotografias e encadernações. Assim, o material já deteriorado é mais propício para a biodeterioração.

A umidade relativa do ar (UR) determina, através de isotermas de sorção³, o teor de umidade de equilíbrio do papel. Quando a UR do ambiente ultrapassa o limiar de 65%, ponto crítico citado por Ogden (2001), o papel absorve umidade suficiente para que sua atividade de água (a_w), que representa a água livre disponível no substrato para reações biológicas, atinja níveis que permitem a germinação de esporos fúngicos xerofílicos (que toleram pouca água) e, subsequentemente, hidrofilicos.

As mudanças climáticas intensificam dois fenômenos relacionados à umidade, sendo eles a condensação microclimática e a histerese mecânica. O choque térmico entre massas de ar quente e úmido, comuns em tempestades tropicais,

³ Uma isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (Park, Bin e Brod, 2001).

e superfícies internas mais frias, como estantes metálicas ou o miolo compactado de livros, gera o ponto de orvalho. Essa condensação microscópica fornece água sob sua forma líquida diretamente aos esporos, desencadeando a germinação fúngica repentina. Já as flutuações bruscas de UR, com ciclos de seca e chuva intensa, provocam a expansão e contração física das fibras de celulose e colágeno. Esse "movimento" contínuo gera estresse mecânico, rompendo as ligações interfibrilares e causando microfissuras na estrutura do papel e craquelamento nas camadas de tinta e emulsões fotográficas. Essas fissuras facilitam a penetração profunda de hifas fúngicas, tornando a higienização superficial ineficaz (Cardoso, 2022).

Por fim, o cenário de mudanças significativas no clima está frequentemente associado ao aumento da concentração de poluentes atmosféricos, como dióxido de carbono (CO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes gases, ao penetrarem nos documentos gráficos e interagirem com a umidade elevada, formam ácidos fracos como o ácido carbônico, sulfúrico e nítrico que ficam disponíveis para a solvatação. A hidrólise ácida quebra as cadeias de celulose, diminuindo o grau de polimerização e a resistência mecânica das fibras (Gonçalves, 2015). Um papel pré-fragilizado quimicamente torna-se um substrato muito mais acessível e fácil de ser digerido pelas enzimas dos microrganismos e pelo aparelho bucal triturador dos insetos, criando um ciclo de retroalimentação positiva de biodeterioração assistida quimicamente.

CARACTERIZAÇÃO DOS AGENTES BIOLÓGICOS DE DETERIORAÇÃO: TAXONOMIA, FISIOLOGIA E COMPORTAMENTO

A biodeterioração é causada pelas pragas, organismos específicos que evoluíram, ao longo de milênios, para converter polímeros orgânicos complexos em energia. No contexto de um acervo de documentos gráficos, a identificação taxonômica e comportamental desses agentes é a base para qualquer estratégia de diagnóstico e controle.

De acordo com a literatura de referência (Cassares, 2000; Spinelli, 1997), classifica-se a fauna degradadora em dois grandes grupos: macro e microrganismos. Contudo, estudos recentes, como o de Querner *et al.* (2022), alertam que a distribuição geográfica e a agressividade desses agentes estão se alterando rapidamente em resposta ao aquecimento dos microclimas internos, exigindo uma reavaliação dos mapas de risco tradicionais.

Macrorganismos

Dentre os macrorganismos, os insetos representam uma ameaça visível, imediata e de atuação mecânica. Dotados de aparelhos bucais adaptados para triturar, roer ou sugar, eles comprometem a integridade física dos suportes. Os insetos são animais poiquilotérmicos, ou seja, eles não regulam a própria temperatura corporal; seu metabolismo é inteiramente dependente da temperatura ambiente. Portanto, o aquecimento global atua diretamente na aceleração de seus ciclos vitais, taxas de alimentação e reprodução (Vishnupandi *et al.*, 2025).

As ordens mais comuns de atacarem os documentos gráficos são a Isoptera, representada por cupins; a *Zygentoma*, que são traças; a *Coleoptera*, composta por brocas; e a *Blattaria*, que são baratas. Os isópteros, popularmente conhecidos como cupins ou térmitas, são considerados os agentes de maior potencial destrutivo estrutural em acervos de países tropicais. São insetos sociais, organizados em castas, o que lhes confere uma eficiência devastadora na busca e consumo de recursos. Os cupins alimentam-se vorazmente de celulose. No entanto, a maioria das espécies não possui enzimas próprias para digerir-la; elas dependem de uma simbiose obrigatória com protozoários flagelados ou bactérias presentes em seu trato intestinal (Silva, 2022).

Dentre as famílias de cupins com maior incidência nos acervos de documentos gráficos estão a *Kalotermitidae*, de madeira seca, e a *Rhinotermitidae*, de solo. Os cupins de madeira seca, nidificam no próprio objeto que podem ser armários e estantes de madeira, mobiliário comum para documentos gráficos, ou no próprio livro. Suas colônias são menores comparadas aos cupins de solo e deixam como vestígio característico pequenos grânulos secos, que são expulsos da colônia (Felix; Costa, 2018).

Já os cupins subterrâneos ou de solo, conforme Felix e Costa (2018) apontam, são os mais agressivos. Vivem no solo e necessitam de uma fonte constante de umidade. Constroem túneis de terra para alcançar a fonte de celulose acima do solo. Em cenários de mudanças climáticas, como o aumento da umidade do solo devido a inundações ou lençóis freáticos elevados, a incidência desta espécie tende a aumentar em edifícios térreos e porões de instituições de guarda.

Uma característica crítica para a conservação, destacada por Cassares (2000), é a fotofobia (aversão à luz) e a criptobiose (vida oculta) dos cupins. Ao atacarem um livro ou documento, os cupins consomem o miolo rico em celulose, preservando intactas as camadas externas (pastas, lombada) ou construindo túneis de proteção com fezes e terra cimentada. Isso torna a infestação silenciosa e, muitas vezes, o dano só é detectado quando o objeto se desfaz ao toque, revelando o interior oco.

As traças, da ordem *Zygentoma*, representada pela família *Lepismatidae*, são insetos primitivos, sem asas, com o corpo coberto de escamas, apresentando três longos filamentos posteriores, e têm hábitos noturnos. Ocorrem em condições úmidas, necessitando de 70 a 80% de umidade para a reprodução. As espécies dos gêneros *Lepisma* e *Ctenolepisma* alimentam-se de goma, cola e fungos microscópicos. As do gênero *Thermobia* também podem causar danos em papéis, fotografias e encadernações, mas precisam de condições mais quentes e secas (Felix; Costa, 2018).

São organismos onívoros com forte preferência por amido, dextrinas e polissacarídeos, encontrados em colas, gomas e na encolagem do papel. O dano característico é a perda superficial do suporte, podendo remover a camada de imagem e informação textual, deixando uma superfície irregular e desgastada (Spinelli, 1997). Porém, as traças também podem promover galerias, cujo aspecto é de um rendilhado.

A ordem *Coleoptera*, especificamente a espécie *Tricorynus herbarius*, é a mais comum em instituições de guarda com acervo de documentos gráficos no Brasil (Felix; Costa, 2018). São besouros muito pequenos, geralmente com cerca de 2 a 3 mm de comprimento, de coloração castanho avermelhada a castanho escura, com o corpo oval a alongado. O besouro adulto geralmente não causa danos significativos aos acervos: sua função é reprodutiva. O grande agente de deterioração é a larva. Ao eclodir dos ovos depositados nas frestas dos livros, a larva inicia um ciclo de alimentação para acumular energia para a pupação. Elas possuem mandíbulas fortes, capazes de escavar galerias cilíndricas profundas e sinuosas que atravessam o corpo do livro, perfurando papel, papelão e até madeira (Felix; Costa, 2018).

A atividade larval deixa como vestígio um pó fino acumulado nas estantes ou próximo aos acervos, composto por fezes e restos de papel triturado. O aquecimento global influencia diretamente o fenômeno do polivoltinismo, ou

seja, o número de gerações por ano. Em temperaturas mais altas, entre 28 °C a 32 °C, o tempo de desenvolvimento larval encurta drasticamente, permitindo que uma população de brocas se multiplique várias vezes em um único ano, acelerando exponencialmente a destruição do acervo (Notton, 2018).

Por fim, a ordem *Blattaria*, das famílias *Blattidae*, representadas pelas baratas, são insetos sinantrópicos de alta resistência e adaptabilidade. São onívoras e detritívoras. Em locais com acervos documentais, são atraídas por materiais que contenham amido (colas de lombada, papéis engomados), couro e restos de alimentos humanos. O dano mecânico ocorre nas bordas e superfícies dos documentos, com contornos irregulares. Além da destruição física, as baratas causam um dano químico secundário ao regurgitarem um fluido digestivo ácido para amolecer o alimento antes de ingeri-lo, o que causa manchas acastanhadas e indelévels no papel. Seus excrementos também mancham e acidificam o suporte. Além disso, o corpo de baratas mortas e suas cápsulas de ovos decompõem-se, servindo de atrativo para outros insetos necrófagos e fungos, alimentando o ciclo da biodeterioração (Felix; Costa, 2018).

Microrganismos: A Deterioração Bioquímica

Enquanto os insetos atuam na escala macroscópica, os microrganismos, como fungos e bactérias, operam em nível celular e molecular. Sua ação é menos visível no início, mas promove alterações bioquímicas profundas na estrutura dos materiais, sendo muitas vezes mais difícil de reverter do que o dano mecânico.

Os fungos filamentosos são os principais agentes de biodeterioração em instituições de guarda como arquivos e bibliotecas situados em climas tropicais. Esporos de gêneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Chaetomium* são onipresentes no ar, aguardando apenas as condições ideais de temperatura e umidade para germinar. Revisões recentes destacam que espécies do gênero *Aspergillus* têm se mostrado as mais resilientes às oscilações climáticas, dominando microambientes de acervos sem controle e representando risco à saúde humana devido à produção de microtoxinas (Skóra *et al.*, 2023).

Ao germinar, o esporo produz hifas, que são filamentos tubulares, com crescimento apical. Essas hifas formam uma rede densa chamada micélio. A pressão mecânica exercida pelo crescimento das hifas permite que o fungo

penetre fisicamente entre as fibras do papel, separando-as e enfraquecendo a estrutura física do fólio (Cardoso, 2022).

Como organismos heterotróficos absorptivos, os fungos realizam a digestão extracelular. Eles liberam exoenzimas no substrato, como as celulasas, proteases, amilases e lipases. A celulase, especificamente, hidrolisa a celulose em glicose, desestruturando o papel e causando perda de resistência mecânica. Além da energia gerada pelo metabolismo fúngico, ele produz resíduos como ácidos orgânicos (cítrico, oxálico, fumárico, acético), catalisando a hidrólise ácida. Além disso, muitos fungos produzem pigmentos (melaninas, carotenos) como proteção contra a luz UV ou como subprodutos metabólicos. A interação desses produtos com traços de metais (ferro, cobre) presentes no papel resulta no fenômeno conhecido como foxing, manchas de cor ferrugem ou amareladas, de difícil remoção, que comprometem a legibilidade e a estética da obra (Callol, 2013).

Embora menos frequentes que os fungos em ambientes de guarda de documentos gráficos, as bactérias também podem causar danos aos acervos, geralmente associadas a catástrofes climáticas (Beck, 1985). As bactérias exigem uma atividade de água (a_w) muito alta, geralmente superior a 0,90. Portanto, elas colonizam acervos que sofreram com inundações, alagamentos ou condensação extrema.

Bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Cellvibrio* produzem enzimas hidrolíticas potentes e sua ação é mais rápida se comparada aos fungos. Em papéis encharcados, a ação bacteriana pode transformar uma massa de documentos em uma polpa gelatinosa. Além disso, muitas bactérias são cromogênicas, produzindo pigmentos solúveis em água que mancham áreas extensas do documento nas colorações rosa, amarela e violácea, diferindo das manchas pontuais dos fungos. Ademais, a decomposição bacteriana de colas animais e pergaminhos libera odores pútridos característicos, uma vez que se trata de compostos de enxofre e amônia (Cardoso, 2022), indicando um estágio avançado de perda material.

O CENÁRIO BRASILEIRO: PREVALÊNCIA E SEVERIDADE

A biodeterioração é modulada pelo contexto geoclimático e institucional. No Brasil, país de clima predominantemente tropical úmido, a severidade das infestações varia conforme o bioma, a tipologia da edificação de guarda e as

ações de conservação preventiva. Relatórios técnicos de instituições de referência, como a Fundação Biblioteca Nacional (FBN) e o Arquivo Nacional, indicam um padrão de risco. Em edifícios históricos não climatizados ou com climatização intermitente, a ordem *Isoptera* (cupins) representa a maior ameaça em termos de perda de massa documental irreversível. O ataque de cupins subterrâneos (*Coptotermes gestroi*) é particularmente devastador em acervos localizados em pavimentos térreos ou porões, onde a umidade ascendente do solo cria o microclima ideal. Casos notórios de perda total de coleções em bibliotecas universitárias e arquivos judiciais no interior do país corroboram a letalidade silenciosa desses agentes (Almeida; Bojanoski, 2009).

Por outro lado, em acervo parcialmente climatizados, a prevalência muda. O maior número de ocorrências registradas refere-se a fungos (*Aspergillus* e *Penicillium*). Estudos recentes em bibliotecas universitárias do Sul e Sudeste do país demonstram que falhas pontuais nos sistemas de ar-condicionado, como o desligamento noturno para economia de energia, geram picos de umidade relativa suficientes para desencadear blooms fúngicos em poucos dias (Silva *et al.*, 2023).

Quanto à tipologia dos documentos gráficos, a manifestação da biodeterioração no Brasil apresenta gravidades distintas. Os livros sofrem ataques estruturais, com a predominância de brocas (*Anobiidae*) que perfuram as pastas resultando em perda de mídia. Além disso, quando há encadernação de couro, o ataque fúngico é facilitado (Silva *et al.*, 2023). Os documentos avulsos e manuscritos são alvos preferenciais de traças (*Zygentoma*). O dano manifesta-se como erosão superficial nas bordas e em áreas com acúmulo de sujidade ou cola. As traças removem a camada de tinta e informação, o que é crítico em documentos manuscritos, sobretudo com tintas metaloácidas⁴ já fragilizadas.

Os acervos fotográficos representam os objetos de maior vulnerabilidade, uma vez que a camada de gelatina da emulsão fotográfica é um meio de cultura rico em proteínas para fungos e bactérias. No clima brasileiro, o ataque resulta rapidamente na liquefação da imagem ou na formação de manchas de *foxing* biogênico. Assim, a biodeterioração significa a perda total e imediata da informação visual (Mársico, 2007).

⁴ As tintas metaloácidas são aquelas compostas por metais, como o ferro e o cobre, e ácidos orgânicos. Um exemplo é a tinta ferrogálica, amplamente utilizada em desde o final da Idade Média até a primeira metade do século XX, genericamente composta de tanino, sulfato ferroso, goma arábica e água (Gonçalves, 2015).

O tratamento por anóxia é atualmente um dos métodos mais aceitos de desinfestação atóxica e controle de fungos e insetos em acervos de documentos gráficos, usando atmosferas com oxigênio abaixo de 1% em sistemas selados por períodos de dias a semanas. A literatura recente destaca sua eficácia, baixo impacto sobre o suporte e vantagens em relação a fumigantes tóxicos e tratamentos por temperatura extrema, como o congelamento (Machado *et al.*, 2024).

O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BIODETERIORAÇÃO: DA TEORIA À TERMODINÂMICA DO RISCO

A compreensão contemporânea da biodeterioração exige situá-la em um contexto geofísico e sociopolítico amplo. O Sexto Relatório do IPCC estabeleceu que a influência humana gerou mudanças rápidas na atmosfera e nos oceanos, instaurando um regime de risco sistêmico para o patrimônio cultural, no qual a estabilidade histórica dos microclimas é rompida (IPCC AR6, 2021). Nesse cenário, Bonazza e Sardella (2023) argumentam que a vulnerabilidade do patrimônio é dinâmica, manifestando-se através de multiplicadores de risco, como eventos extremos que testam a resiliência dos edifícios além de seus limites originais. Tal perspectiva exige que gestores de acervos atuem como agentes ativos na análise de cenários futuros, sob pena de perdas irreversíveis da memória documental.

Um conceito fundamental para entender essa dinâmica em arquivos é a "função de transferência", discutida por Peter Brimblecombe (2010). A teoria postula que o microclima interno é uma função do clima externo, modulada pelo envoltório do prédio e sua capacidade de amortecimento térmico. No entanto, a realidade dos acervos brasileiros é distinta: em edifícios sem isolamento eficiente ou sistemas de *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC), a função de transferência é alta, transmitindo anomalias externas quase imediatamente para o interior. Consequentemente, a inércia térmica das alvenarias tradicionais está sendo vencida pela intensidade das novas ondas de calor. Simulações de Leissner *et al.* (2023) demonstram que, sob cenários de emissão do IPCC, haverá um aumento significativo de horas favoráveis à germinação fúngica ($UR > 70\%$ e $T > 20^{\circ}\text{C}$), transformando áreas anteriormente seguras em zonas de risco biológico permanente.

A conexão entre a física e a biologia ocorre via termodinâmica, em que a temperatura rege a biodeterioração. Segundo a Lei de Arrhenius, o aquecimento otimiza a cinética das reações biológicas e o metabolismo de insetos ectotérmicos. O aumento da temperatura média reduz o tempo de incubação e desenvolvimento larval, eliminando o inverno como desacelerador natural (diapausa) e favorecendo o polivoltinismo. Esse fenômeno permite que populações de *Anobiidae* e *Zygentoma* cresçam exponencialmente, tornando as infestações crônicas (Notton, 2018). Paralelamente, enzimas fúngicas (celulases e proteases) atingem máxima eficiência entre 25°C e 30°C, acelerando a perda de resistência mecânica dos documentos mesmo sem crescimento microbiano visível.

O risco real, contudo, reside na sinergia de fatores. Mudanças climáticas alteram a química atmosférica e o aumento do CO² potencializa a acidificação dos materiais. Em ambientes quentes e úmidos, poluentes gasosos formam ácidos fortes *in situ*, desencadeando a hidrólise ácida. O papel fragilizado torna-se um substrato mais acessível para enzimas fúngicas, gerando um ciclo de retroalimentação onde o dano químico facilita o ataque biológico (Mársico, 2007).

Por fim, a teoria dos "Pontos de Não-Retorno" aplica-se à microescala do acervo. O choque térmico entre massas de ar saturadas e superfícies internas frias gera o ponto de orvalho, fornecendo água líquida para a ativação biológica imediata. Derksen *et al.* (2024) demonstram que essas flutuações aceleradas causam fadiga mecânica e microfissuras que facilitam a penetração de hifas. Essa disponibilidade súbita de água rompe a estabilidade microbiológica secular, resultando em perdas massivas por ataque fúngico ou gelatinização em poucos dias.

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E MONITORAMENTO NO SÉCULO XXI

A conservação preventiva contemporânea, conforme delineada por Callol (2013) e Pinna (2025; 2001), estabelece uma mudança paradigmática: a transição da intervenção curativa, muitas vezes tardia e invasiva, para a gestão sistêmica dos riscos. A biodeterioração deixa de ser vista como um acidente biológico isolado e passa a ser compreendida como um sintoma de falhas no controle ambiental.

Ao longo do século XX, o combate às pragas em acervos foi marcado pelo uso recorrente de produtos químicos de ação rápida, especialmente inseticidas sintéticos e fumigações sistemáticas. Entre esses compostos, destacaram-se os organoclorados (compostos utilizados como pesticidas que pertencem à classe dos poluentes orgânicos persistentes (POPs), ou seja, permanecem ativos no meio ambiente por grandes períodos após seu uso), como o diclorodifeniltricloroetano (DDT) e o hexacloreto de benzeno (BHC), amplamente empregados a partir da década de 1940 por sua eficiência inicial e baixo custo. No entanto, a experiência acumulada mostrou que esses produtos apresentavam grande persistência no ambiente, toxicidade para trabalhadores e usuários, além de risco de contaminação dos próprios bens culturais, razão pela qual passaram a ser progressivamente questionados e substituídos (Almeida e Bojanoski, 2009).

Em diferentes instituições, também se fez uso de substâncias como pastilhas de paraformaldeído, naftalina, fosfina e outros gases ou vapores tóxicos, muitas vezes sem controle técnico adequado. Embora essas práticas tenham sido durante muito tempo consideradas soluções de combate imediato (Almeida e Bojanoski, 2009), seus efeitos colaterais revelaram-se graves: riscos respiratórios, danos à saúde humana, degradação de materiais sensíveis e impacto ambiental duradouro. A adoção desses produtos em acervos esteve, portanto, associada a uma lógica de erradicação que não resolvia a causa da infestação e ainda criava novos problemas de conservação e segurança.

É nesse contexto que se consolida a crítica aos métodos químicos tradicionais e a busca por estratégias alternativas, como a anóxia. Diferentemente dos biocidas convencionais, a anóxia atua pela supressão do oxigênio, eliminando insetos em diferentes estágios de desenvolvimento sem introduzir resíduos tóxicos no acervo ou no ambiente de trabalho. Por isso, ela se afirma como uma resposta mais coerente com os princípios da conservação preventiva, especialmente quando integrada a programas de controle integrado de pragas.

Além disso, diante da ineficácia a longo prazo e da toxicidade comprovada dos métodos químicos tradicionais, a estratégia moderna foca na estabilização do microclima. Froner e Souza (2008) reforçam que:

A Conservação Preventiva abarca procedimentos relacionados à adequação das condições ambientais, físico-químicas, sob as quais uma coleção se encontra. Parte das relações que envolvem o macro ambiente, o ambiente médio e o microambiente do entorno do acervo (Froner; Souza, 2008, p.9).

Isso significa que o controle de pragas começa muito antes do inseticida; mas na compreensão da termodinâmica do edifício e na gestão da umidade relativa. A gestão integrada desses sistemas exige um conhecimento profundo não apenas das pragas e dos materiais, mas também da física do edifício e do comportamento humano dentro dele. A eficácia das estratégias de controle depende, em última análise, da capacidade da instituição em criar uma cultura de preservação que perpassse todos os níveis hierárquicos e operacionais, fundamentada em dados concretos e monitoramento contínuo.

A sustentabilidade financeira e ambiental das instituições de memória também entra na equação. Em um cenário de crise energética e orçamentos restritos, a dependência exclusiva de sistemas mecânicos de climatização (controle ativo) torna-se insustentável. A busca por soluções que integrem a inteligência da arquitetura (controle passivo) com a precisão da tecnologia de monitoramento é o caminho apontado pela literatura recente para garantir a longevidade dos acervos no século XXI.

Monitoramento Ambiental Sistêmico

A premissa fundamental da conservação preventiva postula a impossibilidade de gerir variáveis não mensuradas. A prática convencional de leitura manual de termohigrômetros analógicos, realizada pontualmente, revela-se insuficiente para detectar os riscos impostos pelo novo cenário climático. Como alertam Guerra (2021) e Carvalho (2013), as flutuações de temperatura e umidade relativa ocorrem em ciclos contínuos, e a ausência de dados durante a noite ou fins de semana cria uma falsa sensação de segurança, mascarando períodos críticos de instabilidade higroscópica que favorecem a biodeterioração.

A implementação de tecnologias de monitoramento contínuo, como *dataloggers*, é mandatória para a obtenção de um diagnóstico preciso. Estes dispositivos registram os parâmetros de temperatura e umidade relativa em intervalos reduzidos, armazenando a informação. A análise destes dados permite a identificação de microclimas de risco, imperceptíveis durante o expediente laboral, tais como picos de umidade noturnos decorrentes do desligamento de sistemas de climatização.

Adicionalmente ao registro temporal, é necessária a monitorização espacial dos Pontos de Orvalho. Pereira e Brito (2012) destacam que, em episódios de precipitação intensa seguidos de elevação térmica, superfícies como paredes externas e tubagens metálicas podem atingir temperaturas inferiores ao ponto

de orvalho do ar ambiente, propiciando a condensação superficial. A utilização de termômetros infravermelhos possibilita o mapeamento destas zonas frias, que constituem nichos ideais para o desenvolvimento de colônias fúngicas antes mesmo que sejam visíveis.

A interpretação desses dados não deve assumir um caráter passivo, mas alimentar um sistema de alerta precoce. A constatação de padrões de elevação crítica da umidade em períodos específicos deve desencadear medidas corretivas imediatas, como a instalação de desumidificadores programados ou a vedação de frestas. A monitorização converte a conservação de uma atividade reativa a sinistros numa ciência preditiva de riscos, permitindo intervenções cirúrgicas antes que o dano biológico se instale.

A integração desses sistemas de monitoramento com a gestão predial é o próximo nível de eficiência. Sensores conectados podem enviar alertas em tempo real para os gestores, permitindo respostas rápidas a falhas no sistema de climatização, vazamentos ou eventos climáticos extremos. Essa conectividade garante que o acervo esteja sob vigilância constante, minimizando o tempo de exposição a condições adversas e permitindo uma gestão remota e ágil das condições ambientais.

O monitoramento ambiental sistêmico também deve incluir a avaliação da qualidade do ar interior, medindo a concentração de poluentes gasosos e material particulado. Sensores específicos para esses poluentes permitem identificar fontes de contaminação e implementar medidas de mitigação, como a instalação de filtros de ar mais eficientes.

Por fim, o registro histórico das condições climáticas do acervo constitui um documento para a gestão a longo prazo. A série histórica de dados permite correlacionar danos específicos observados nos materiais com eventos climáticos passados, fornecendo evidências para justificar investimentos em melhorias na infraestrutura predial e nos sistemas de climatização, transformando a conservação em uma política institucional baseada em evidências.

Protocolos de Monitoramento Biológico Integrado

A monitorização biológica constitui a segunda linha de defesa na preservação de acervos. Um Programa de Manejo Integrado de Pragas (MIP) eficaz fundamenta-se na detecção da presença de agentes biológicos em estágios

iniciais. Ogden (2001) enfatiza que aguardar a detecção de danos macroscópicos para iniciar a intervenção constitui um erro estratégico; a presença de um único espécime adulto pode indiciar uma colônia ativa em desenvolvimento e a iminência de uma infestação generalizada.

A inspeção visual periódica deve ser sistematizada e executada por equipes capacitadas para reconhecer os vestígios sutis da atividade biológica. A acumulação de resíduos pulverulentos em prateleiras ou no pavimento constitui o sinal clássico de atividade de coleópteros xilófagos (*Anobiidae*) ou térmitas de madeira seca. A presença de túneis de terra cimentada em paredes ou rodapés é um indicador de térmitas subterrâneos, sinalizando uma conexão ativa entre o solo úmido e o acervo que exige interrupção imediata (Beck, 1985; Cassares, 2000).

O olfato humano atua igualmente como um sensor relevante no monitoramento biológico. O odor característico da presença de microrganismos é provocado por Compostos Orgânicos Voláteis Microbianos (MVOCs) liberados por fungos em fase de crescimento metabólico ativo. A percepção deste odor em um ambiente indica que a colônia se encontra estabelecida e em fase de esporulação, mesmo na ausência de sinais visuais de micélio. Essa detecção olfativa precoce exige o isolamento imediato da área e a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), alinhando a conservação do acervo à segurança do trabalho.

Complementarmente à inspeção visual, a utilização de armadilhas adesivas é útil para a monitorização de insetos rastejantes. As armadilhas, dispostas estrategicamente nos cantos das salas e em rotas de passagem, operam de forma contínua, capturando insetos de hábitos noturnos e esquivos. A análise mensal das armadilhas permite a elaboração de um mapa da infestação, revelando a localização dos focos de concentração e a dinâmica populacional ao longo do tempo. A identificação precisa das espécies capturadas é fundamental para determinar a estratégia de controle mais adequada. O conhecimento taxonômico permite direcionar os esforços de controle para as causas raiz da infestação, seja ela umidade excessiva, falta de limpeza ou falhas na vedação do edifício, evitando o uso indiscriminado e ineficaz de produtos químicos.

O registro sistemático das espécies encontradas, dos locais de infestação, da extensão dos danos e das medidas de controle adotadas cria um histórico que

ajuda a identificar padrões sazonais e a avaliar a eficácia das estratégias implementadas. Essa base de dados permite aos gestores tomarem decisões baseadas em evidências e ajustar continuamente o programa de preservação.

O envolvimento de toda a equipe da instituição no monitoramento biológico é uma estratégia defendida por Froner e Rosado (2008). Funcionários de limpeza, segurança e atendimento ao público podem ser treinados para identificar e relatar a presença de insetos ou sinais de biodeterioração em suas rotinas diárias. Essa vigilância coletiva amplia a capacidade de detecção precoce e cria uma cultura de responsabilidade compartilhada pela preservação do patrimônio.

Controle Passivo e Ativo

O controle das condições ambientais pode ser segmentado em duas grandes estratégias complementares: o controle passivo e o controle ativo. O controle passivo (Guerra, 2021) refere-se à utilização inteligente da arquitetura e dos materiais construtivos para amortecer as flutuações externas e manter a estabilidade interna, prescindindo do uso intensivo de energia mecânica. Um edifício adequadamente projetado atua como um filtro, protegendo o acervo das oscilações térmicas e higrométricas extremas do ambiente externo.

As estratégias passivas englobam o isolamento térmico do envoltório do edifício para mitigar as trocas de calor por condução. O uso de materiais com alta inércia térmica ajuda a manter a temperatura interna estável, retardando a penetração do calor diurno. A utilização de cores claras nas fachadas reflete a radiação solar, reduzindo a absorção de calor. O sombreamento de vãos com elementos de proteção solar (brises, persianas) ou vegetação evita a insolação direta e o efeito de estufa, que pode elevar drasticamente a temperatura interna e acelerar a degradação dos materiais (Bauer, 2013).

A ventilação cruzada estratégica constitui outra ferramenta do controle passivo, especialmente em climas tropicais. Permitir a circulação natural do ar através de aberturas opostas evita a formação de zonas de estagnação e umidade, dificultando a deposição e germinação de esporos fúngicos. O *design* passivo que favorece a renovação do ar pode ser responsável por uma redução significativa da carga térmica interna e pela manutenção da umidade relativa em níveis aceitáveis, diminuindo a dependência de equipamentos mecânicos.

O controle ativo, por sua vez, envolve a utilização de sistemas mecânicos consumidores de energia para modificar artificialmente o clima interno, como sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado e desumidificadores. Estes sistemas tornam-se necessários quando as condições externas são de tal modo extremas que a arquitetura não consegue manter os parâmetros de conservação. Todavia, conforme alerta Mársico (2007), o controle ativo deve ser encarado como complementar ao passivo, e não como solução única, devido aos riscos associados a falhas mecânicas e custos operacionais.

A dependência exclusiva de sistemas mecânicos gera uma vulnerabilidade crítica para a instituição. Falhas no fornecimento de energia ou avarias nos equipamentos expõem o acervo a choques climáticos imediatos. Um edifício projetado para depender 100% de ar-condicionado torna-se uma estufa ou uma câmara úmida em poucas horas após o desligamento do sistema. Além disso, o custo operacional de manter sistemas de climatização integral é elevado e muitas vezes insustentável para instituições públicas brasileiras.

A integração ideal reside no sistema híbrido, no qual o controle passivo assume a estabilização térmica primária e o controle ativo intervém no ajuste fino da umidade relativa e na filtragem de poluentes. Essa abordagem não apenas otimiza o consumo energético e os recursos financeiros, como também confere maior resiliência ao ambiente de guarda. Um edifício com desempenho passivo eficiente mantém a segurança do acervo por períodos mais prolongados durante interrupções de energia, funcionando como um organismo que se adapta ao clima.

A implementação de medidas passivas em edifícios históricos exige um estudo cuidadoso para não descaracterizar o patrimônio arquitetônico. Soluções reversíveis, como a instalação de janelas duplas internas ou o uso de cortinas térmicas, podem melhorar significativamente o desempenho térmico sem comprometer a integridade histórica. O respeito à "inteligência climática" original do edifício deve ser o ponto de partida para qualquer projeto de adequação ambiental visando a preservação do acervo (Silva, 2012).

Estratégias de “conservação verde”: evidências, limitações e viabilidade

A busca por alternativas aos biocidas sintéticos, denominada “conservação verde”, destaca-se na literatura recente devido a preocupações crescentes com a toxicidade ocupacional, o impacto ambiental e a resistência biológica de pragas. Nesse cenário, sua adoção no Brasil exige uma avaliação crítica que

considere não apenas a robustez das evidências científicas, mas também a viabilidade econômica frente à escassez de recursos. Dentre as opções promissoras, os óleos essenciais de tomilho, cravo, eucalipto, lavanda e alecrim sobressaem-se por conterem bioativos como timol, eugenol e cineol, cujas propriedades antifúngicas e inseticidas foram comprovadas *in vitro*. A esse respeito, Pinna (2025) identificou que os óleos de tomilho e cravo apresentam baixas concentrações inibitórias mínimas contra *Aspergillus niger* e *Penicillium chrysogenum*, fungos dominantes em acervos tropicais, agindo diretamente na ruptura da membrana celular e na inibição do ergosterol⁵.

Não obstante esse desempenho, limitações técnicas significativas ainda impedem a substituição plena da conservação tradicional. Isso se deve ao fato de que aplicações diretas em papéis com tintas solúveis causaram migração de pigmentos e manchas em 60% dos casos testados, enquanto em fotografias de gelatina de prata, os compostos fenólicos catalisaram processos oxidativos indesejados. Ademais, a elevada volatilidade desses compostos reduz sua eficácia após 72 horas, o que demanda reaplicações frequentes capazes de saturar o microambiente e gerar desconforto (Pinna, 2025). Persistem, simultaneamente, lacunas sistêmicas na literatura, como a falta de evidências contra o cupim subterrâneo (*Coptotermes gestroi*) e larvas de brocas em galerias profundas. Como resultado, dado que a maioria dos estudos ignora riscos de exposição crônica, esses óleos devem ser encarados como ferramentas complementares de uso pontual, e não como substitutos estruturais do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Diferentemente da volatilidade dos óleos, o tratamento por anóxia apresenta-se atualmente como o método não tóxico mais eficaz para desinfestação, baseando-se na criação de atmosferas com menos de 0,1% de oxigênio. Quanto à sua eficácia, Machado *et al.* (2024) relatam taxas de até 100% contra insetos e 95% contra fungos em um período de 21 a 28 dias. As vantagens dessa técnica incluem a ausência de resíduos químicos, a compatibilidade com materiais sensíveis (como pergaminhos e aquarelas) e a excelente penetração em volumes compactos. No entanto, sua viabilidade econômica no Brasil é desfavorável para aplicações rotineiras, uma vez que envolve custos elevados. Dessa forma, a anóxia mostra-se viável sobretudo para obras de alto valor

⁵ O ergosterol é um componente da membrana celular dos fungos e alguns protozoários, exercendo funções semelhantes às do colesterol em células animais, como a produção de vitaminas.

patrimonial, enquanto acervos extensos demandam investimentos prioritários em controle passivo e higienização programada.

A escolha entre as metodologias deve ser situacional e rigorosamente baseada na análise de risco. Enquanto para acervos pequenos a combinação de controle passivo e higienização oferece o melhor custo-benefício, para obras raras, a anóxia permanece como a opção de máxima segurança. Em contrapartida, a fumigação química deve ser progressivamente abandonada em favor de estratégias mais seguras, sustentáveis e alinhadas aos princípios da conservação preventiva contemporânea, ou seja, que buscam compostos de menor toxicidade ou baseadas no controle ambiental.

Educação Ambiental e Sustentabilidade na Gestão Patrimonial

A preservação do patrimônio cultural encontra-se intrinsecamente ligada à preservação do meio ambiente global. A gestão de acervos deve incorporar os princípios da Educação Ambiental, conforme preconizado pela Lei nº 9.795/1999 (Política Nacional de Educação Ambiental), promovendo a conscientização de gestores, técnicos e utilizadores sobre o impacto das suas ações na sustentabilidade planetária e na conservação dos documentos gráficos. A sustentabilidade não é apenas uma tendência, mas um pilar ético da conservação moderna.

A educação ambiental no contexto patrimonial implica a compreensão de que as alterações climáticas são exacerbadas pelo desperdício de recursos. A adoção de práticas de "Conservação Verde" traduz-se na escolha consciente de materiais e métodos com menor pegada de carbono e toxicidade reduzida. O que abrange desde a substituição de sistemas de iluminação por tecnologia de diodo emissor de luz (LED), que emite menos calor e comprimentos de onda UV, até à seleção de produtos de limpeza biodegradáveis e ao abandono definitivo de pesticidas organoclorados persistentes, protegendo a saúde dos trabalhadores e o ecossistema.

A capacitação das equipes para a identificação e redução de desperdícios é uma estratégia de alto impacto e baixo custo. A manutenção de janelas abertas em ambientes climatizados ou a iluminação desnecessária em espaços desocupados são práticas que geram custos financeiros e ambientais evitáveis. Treinar os funcionários para reconhecerem esses desperdícios e adotarem hábitos mais sustentáveis contribui diretamente para a eficiência operacional da instituição e para a mitigação das mudanças climáticas.

Mais profundamente, é necessário compreender que o ato de conservar um documento gráfico é, em si, um ato ecológico. Ao prolongar a vida útil dos materiais culturais, evita-se o descarte prematuro e a necessidade de novas produções consumidoras de recursos naturais e energia. A conservação preventiva é uma forma de reciclagem cultural, valorizando o que já existe e reduzindo a pressão sobre o meio ambiente. A gestão sustentável de acervos alinha-se, assim, com os princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável já discutidos por Cavalcanti (1997).

A conscientização sobre a interdependência entre patrimônio e clima fortalece a resiliência institucional. Quando a equipe compreende a fundamentação técnica e ambiental das normas de conservação, por exemplo, a importância de manter portas fechadas para evitar a entrada de ar úmido, o protocolo de conservação transcende a imposição burocrática. Ele torna-se uma cultura organizacional de salvaguarda e responsabilidade socioambiental.

A educação patrimonial e ambiental deve se estender também ao público visitante e à comunidade. Instituições de guarda têm o potencial de serem vitrines de sustentabilidade, demonstrando como a preservação da memória pode caminhar lado a lado com a preservação da natureza. Exposições e programas educativos podem abordar temas como mudanças climáticas e conservação, engajando a sociedade na proteção de seus bens comuns. A instituição torna-se, assim, um agente ativo na promoção da cidadania e da consciência ecológica.

Por fim, a educação ambiental na gestão de acervos contribui para a formação de uma sociedade mais consciente, crítica e responsável. Ao preservar o passado com respeito aos limites do planeta e às necessidades das futuras gerações, as instituições de memória cumprem seu papel social de forma plena e integrada. A sustentabilidade na conservação não é um luxo, mas uma condição essencial para que o patrimônio cultural continue a existir e a fazer sentido em um mundo em rápida transformação.

RESULTADOS

A análise de 48 estudos identificou consensos, lacunas e contradições sobre a biodeterioração documental frente às mudanças climáticas. No que tange aos consensos, a literatura ratifica a aplicabilidade da Lei de Arrhenius, demonstrando que a velocidade de reações enzimáticas fúngicas dobra a cada

10°C de aumento térmico (Sitzia *et al.*, 2023; Antunes, 2024). De forma análoga, o aquecimento acelera o ciclo larval de insetos ectotérmicos em até 50% (Notton, 2018; Vishnupandi *et al.*, 2025), enquanto a faixa de 25-30°C otimiza a atividade celulásica de espécies tropicais dominantes, como o *Aspergillus niger* (Ranjan *et al.*, 2023). Quanto à umidade relativa (UR), o limiar de 65% permanece o ponto crítico para germinação fúngica (Ogden, 2001; Cassares, 2000; Skóra *et al.*, 2023). Para além dos valores constantes, pesquisas recentes enfatizam que flutuações rápidas de UR (>15% em 24h) são mais severas que a umidade elevada, reduzindo a resistência do papel em 40% via histerese (Derksen *et al.*, 2024). Nesse sentido, o controle passivo em edifícios históricos mostra-se eficaz ao mitigar tais oscilações em até 60% (Brimblecombe, 2010; Leissner *et al.*, 2015).

Apesar da solidez desses mecanismos, persistem lacunas críticas no contexto brasileiro, que representa apenas 12,5% da produção analisada (Felix; Costa, 2018; Silva, 2022). A escassez de séries temporais históricas impede correlacionar o clima à biodeterioração decenal, dificultando a distinção entre falhas crônicas de gestão e efeitos climáticos reais (Almeida; Bojanoski, 2009; Mársico, 2007). Ademais, a "conservação verde" carece de validação contra pragas tropicais específicas, como o cupim subterrâneo (*Coptotermes gestroi*), e de análises de custo-benefício para instituições locais, apesar do potencial inibitório de óleos essenciais (Pinna, 2025).

Essa carência de dados regionais é agravada por contradições teóricas, como a divergência entre os parâmetros rígidos de manuais clássicos (Beck, 1985; Cassares, 2000) e a flexibilização proposta pela "conservação adaptativa" (Reilly, 2019; Bonazza; Sardella, 2023). Consequentemente, as previsões de impacto variam: enquanto Sitzia *et al.* (2023) projetam um aumento de 40% na biodeterioração tropical, Querner *et al.* (2022) sugerem que o impacto será mais severo em regiões temperadas, onde o risco biológico ainda não operava no limite. Por fim, o viés geográfico da literatura, com 81% dos estudos concentrados no Hemisfério Norte, limita a transposição direta desses resultados para o Brasil, reforçando a urgência de validações experimentais locais.

DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biodeterioração de documentos gráficos resulta da interação entre materiais higroscópicos (celulose, colágeno), agentes biológicos e variáveis ambientais

que regulam reações enzimáticas e metabolismos ectotérmicos. A literatura internacional fundamenta esses mecanismos através da Lei de Arrhenius para aceleração térmica, do consenso sobre o limiar de germinação fúngica (UR >65%) e da quantificação experimental de métodos como anóxia e biocidas. O pensamento conservacionista evoluiu das bases técnicas nacionais sobre agentes e parâmetros de guarda (Cassares, 2000; Spinelli, 1997) para a incorporação recente da variável climática como risco dinâmico (Sitzia *et al.*, 2023; Derksen *et al.*, 2024), o que exige o emprego de modelagem preditiva e monitoramento contínuo.

No contexto brasileiro, entretanto, três lacunas limitam a gestão de riscos. A primeira refere-se à escassez de dados empíricos: embora o IPCC (2021) e estudos europeus (Leissner *et al.*, 2015; Sitzia *et al.*, 2023) sustentem o impacto climático, a ausência de séries temporais nacionais impede distinguir se os danos observados decorrem de falhas crônicas de gestão ou de uma intensificação ambiental recente. A segunda lacuna é a falta de comprovação da eficácia de óleos essenciais contra pragas tropicais; apesar da atividade antifúngica (Pinna, 2025), inexistem testes contra cupins subterrâneos (*Coptotermes gestroi*), brocas em estágio larval profundo ou aplicações curativas. Por fim, a viabilidade econômica é pouco explorada, por isso foi considerada como a terceira lacuna, visto que a raridade de análises de custo-benefício dificulta a hierarquização de investimentos nas instituições de guarda brasileiras, como arquivos, bibliotecas e museus.

A transição para uma gestão preditiva exige uma agenda de pesquisa estruturada em quatro eixos prioritários. O primeiro deve consolidar séries temporais decenais para calibrar modelos de risco nacionais, enquanto o segundo deve validar experimentalmente a conservação verde, definindo diretrizes de segurança para substitutos de biocidas. O terceiro eixo deve estabelecer análises econômicas comparativas que subsidiem decisões gerenciais baseadas em custo-efetividade; já o quarto deve focar em protocolos de resposta a eventos extremos e listas de prioridade para resgate. A harmonização dessas ações com normas internacionais e a promoção da educação ambiental transformarão a conservação documental no Brasil em uma disciplina preditiva, regionalmente calibrada e economicamente viável.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Thaís Helena; BOJANOSKI, Silvana. Tratamentos químicos aplicados à biodeterioração de acervos documentais na cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO ABRACOR, 2009, Porto Alegre, *Anais ABRACOR*, 2009. p. 387-393. Disponível em: https://antigo.bn.gov.br/sites/default/files/documentos/producao/comunicacao/tratamentos-quimicos-aplicados-biodeterioracao-acervos/xiii_congresso_internacional_da_abracor_comunicacao_thais_silvana_2009_anais.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025
- ANTUNES, Ana Cláudia Guimarães. *Reações físico-químicas dos alimentos e análise sensorial*. Editora Senac São Paulo, 2024.
- BAUER, Elton. Fatores de Degradação: Estudo da Vida Útil. *Materials and Materiais*. 6 fev. 2013. Disponível em: <https://materialsandmateriais.blogspot.com/2013/02/fatores-de-degradacao-estudo-da-vida.html>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- BECK, Ingrid. *Manual de conservação de documentos*. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 1985. Disponível em: <https://bdan.an.gov.br/handle/123456789/71>. Acesso em: 10 dez. 2025
- BOJANOSKI, Silvana; ALMADA, Márcia. *Glossário ilustrado de conservação e restauração de obras em papel: danos e tratamentos*. Português, Espanhol, Inglês, Grego - 1. ed. - Belo Horizonte: Fino Traço, 2021.
- BONAZZA, Alessandra; SARDELLA, Alessandro. Climate Change and Cultural Heritage: Methods and Approaches for Damage and Risk Assessment. *Heritage*, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 3572-3589, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/heritage6040190>. Acesso em: 10 dez. 2025
- BORGES, Inês da Silva; CASIMIRO, Maria Helena; MACEDO, Maria Filomena; SEQUEIRA, Sílvia Oliveira. Adhesives used in paper conservation: Chemical stability and fungal bioreceptivity. *Conservar Patrimônio*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.03.027>
- BRIMBLECOMBE, Peter. Effect of Climate Change on a Built Heritage: Mapping Heritage Climatologies. *WTA-Schriftenreihe*; v. 34, p. 17-29, 2010. Disponível em: https://www.wta-international.org/fileadmin/user_upload/Nederland-Vlaanderen/syllabi/2010-03-11-12_WTA-Heft_34_-_Climate_Change_HQ_28022010_final.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025
- CARDOSO, Renata Nascimento. *Biodeterioração do patrimônio cultural e aplicação de técnicas não destrutivas de monitoramento e controle de populações microbianas*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- CARVALHO, Claudia Suely Rodrigues de. Conservação preventiva em museus e casas históricas: reduzindo os riscos para o patrimônio da Fundação Casa de Rui Barbosa. *Pós*, São Paulo, v.20, n.33, p. 310-321, 2013. Disponível em: <https://rubi.casaruibarbosa.gov.br/handle/20.500.11997/11872>. Acesso em: 10 dez. 2025
- CASSARES, Norma Cianflone. *Como fazer conservação preventiva em arquivos e bibliotecas*. São Paulo: Arquivo do Estado, 2000. Disponível em: https://www.arqsp.org.br/arquivos/oficinas_colecao_como_fazer/cf5.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025

CAVALCANTI, Clóvis (org.). *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas*. São Paulo: Cortez, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Malte-Faber/publication/293822117_Meio_ambiente_desenvolvimento_sustentavel_e_politicas_publicas/links/56bc45b208ae3f9793155ce1/Meio-ambiente-desenvolvimento-sustentavel-e-politicas-publicas.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025

DERKSEN, Katharina. *et al.* Fungal Biodeterioration Risk in Monastic Libraries without Climate Control. *Microorganisms*, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 1450, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071450>. Acesso em: 11 dez. 2025

FELIX, Márcio; COSTA, Jane. *Insetos bibliófagos: identificação, prevenção e controle*. Laboratório de Biodiversidade Entomológica, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2018.

FRONER, Yacy Ara; ROSADO, Alessandra. *Princípios históricos e filosóficos da conservação preventiva*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Belas Artes, Laboratório de Ciência da Conservação, 2008. Projeto: Conservação preventiva: avaliação e diagnóstico de coleções. Programa de Cooperação Técnica: IPHAN/UFMG. (Tópicos em conservação preventiva - caderno 2).

FRONER, Yacy Ara; SOUZA, Luiz Antônio Cruz. *Preservação de bens patrimoniais: conceitos e critérios*. Belo Horizonte: LACICOR-EBA-UFMG, 2008. (Tópicos em Conservação Preventiva - 3)

GONÇALVES, Marina Furtado. *Separados do nascimento: estudo de técnicas, materiais e estado de conservação de dois manuscritos iluminados do século XVIII*. 2015. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

GOMES GONÇALVES, V. *Estudo da ocorrência da biodeterioração em fachadas por biofilmes vermelhos na cidade de Salvador-BA*. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/38575>. Acesso em: 10 dez. 2025

GUERRA, Fernanda Lamego. Bolor nas paredes pode causar danos às estruturas das edificações. *AECweb*. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/bolor-nas-paredes-pode-causar-danos-as-estruturas-das-edificacoes/7490>. Acesso em: 12 dez. 2025.

GUIMARÃES, Nanci Gonçalves Ribeiro; REZENDE FILHO, Cyro de Barros. Prevenção de acervos bibliográficos contra os agentes deteriorantes. *Revista Biociências*, [S. l.], v. 13, n. 3, 2008.

HUECK, H. J. The biodeterioration of materials as part of hylobiology. *Material und Organismen*, Berlin, v. 1, n. 1, p. 5-34, 1965. Disponível em: <https://publications.tno.nl/publication/34619961/jAol1w/hueck-1965-hylobiology.pdf>. Acesso em 10 dez. 2025

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>. Acesso em: 10 dez. 2025

JADDAOUI, Islam El. GHAZAL, Hassan. BENNETT, Joan W. Mold in Paradise: A Review of Fungi Found in Libraries. *Encyclopedia*, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 1362-1376, 2023.

LEIPNITZ, Fernando. *Gerenciamento de riscos na preservação de acervos bibliográficos*. 2007. 77f. Monografia (Graduação em Biblioteconomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LEISSNER, Johanna *et al.* Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. *Heritage Science*, [S. l.], v. 3, n. 38 p. 1-15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0067-9> . Acesso em: 10 dez. 2025.

MACHADO, V.; BARBOZA, E. L.; BOTELHO-FRANCISCO, R.; ARAUJO, D. M. P. Preservação Documental: anoxia no combate a fungos no acervo do INCRA/PR. In: Congresso Brasileiro de Biblioteconomia e Documentação, 29., 2024. *Anais [...]*. São Paulo: FEBAB, 2024.

MALEA, E.; BOYATZIS, S. C.; KARLIS, D.; PALLES, D.; BOGHOSIAN, S; ZERVOS, S.. The complementary use of Raman, ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics for in-depth characterization of historical parchments. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2024. <https://doi.org/10.1002/jrs.6755>

MÁRSICO, Maria Aparecida de Vries. *Noções Básicas de Conservação de Livros e Documentos*. Arquivar – Gestão de Documentos. 2007.

NOTTON, David G. Identifying insect pests in museums and heritage buildings. 2. ed. Londres: The Natural History Museum, 2018.

OGDEN, Sherelyn. *Armazenagem e manuseio*. 2. ed. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 2001.

PAES, Marilene Leite. *Arquivo: Teoria e prática*. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 1997.

PARK, Kil Jin; BIN, Adriana; BROD, Fernando Pedro Reis. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) Com e sem desidratação osmótica. *Food Science and Technology*, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000100016>. Acesso em 21 abr. 2026.

PEDERSOLI JR, José Luiz; ANATOMARCHI, Catherine; MICHALSKI, Stefan. *Guia de Gestão de Riscos para o Patrimônio Museológico*. Programa IberoMuseus, ICCROM, 2017.

PEREIRA, Pedro Silvino. BRITO, Andréia Matos. *Controle ambiental*. Santa Maria: UFSM, 2012.

PINNA, Daniela. Essential Oils and Cultural Heritage Conservation: Are They Safe, Environmentally Friendly, Sustainable, and Negligibly Toxic?. *Gels*, [S. l.], v. 11, n. 12, p. 978, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/gels11120978> . Acesso em 10 dez. 2025

QUERNER, Pascal *et al.* Climate Change and Its Effects on Indoor Pests (Insect and Fungi) in Museums. *Climate*, [S. l.], v. 10, n. 7, p. 103, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli10070103> . Acesso em: 10 dez. 2025

RANJAN, R.; RAI, R.; BHATT, S. B.; DHAR, P. Technological road map of cellulase: A comprehensive review on applications and future prospects. *Biotechnology Advances*, [S. l.], 2023.

SERAPIERRE, Dione (org). *Manual de conservação preventiva de documentos: papel e filme*. São Paulo: USP, 2005

SILVA, Antônio Gonçalves da. Procedimentos para aumentar a durabilidade de materiais perecíveis: papel. In: SILVA, R. R. G. (org.). *Preservação documental: uma mensagem para o futuro*. Salvador: EDUFBA, 2012. Disponível em: [10.7476/9788523212216.0009](https://doi.org/10.7476/9788523212216.0009). Acesso em: 10 dez. 2025

SILVA, C. D. R. SILVA, Carla Daniele de Rezende da. *Diagnóstico da preservação e conservação dos documentos fotográficos do Arquivo Central da Universidade Federal de Sergipe: o caso do fundo arquivístico da memória fotográfica da UFS*. Monografia (Bacharelado em Biblioteconomia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.

SILVA, Gleice Melo de *et al.* Impacto dos fungos em bibliotecas: perfil socioambiental, alergias e conservação do acervo. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas E Tecnologia*, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 2839-2845, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp2839-2845> . Acesso em: 10 dez. 2025

SITZIA, Fabio *et al.* Predicted Dynamic of Biodeterioration in Cultural Heritage Stones Due to Climate Changes in Humid Tropical Regions: A Case Study on the *Rhodotorula* sp. Yeast. *Heritage*, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 7727 -7741, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/heritage6120406>. Acesso em: 10 dez. 2025

SPINELLI, Jayme Júnior. *A conservação de acervos bibliográficos & documentais*. Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional, 1997.

VAILLANT CALLOL, Milagros. *Biodeterioração do patrimônio histórico documental: Alternativas para sua eliminação e controle*. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins; Fundação Casa de Rui Barbosa, 2013. VISHNUPANDI M.; RAGHAVENDRA S.; NITISH KUMAR, L. S.; ROOPASHREE, D. H.; VARUN, M. S. Climate change and its impacts on insects: a comprehensive review. *International Journal of Research in Agronomy*; SP-8(9): 283-288, 2025. <https://www.doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i9Sd.3818>

ZHANG, Mingrui *et al.* Biodeterioration of collagen-based cultural relics: A review. *Fungal Biology Review*, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 46-59, 2022. Disponível em: [10.1016/j.fbr.2021.12.005](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.12.005). Acesso em: 10 dez. 2025

Vivianne Maria de Freitas: Mestranda em Turismo e Patrimônio pela Universidade Federal de Ouro Preto; Arquiteta e Urbanista pelo Centro Universitário Unigran Capital; Especialista em Conservação e Restauro pelo Instituto Prominas; Especialista em Educação Patrimonial pelo Instituto Prominas.

Marina Furtado Gonçalves: Doutora em História Social da Cultura; Mestra em Arte e Tecnologia da Imagem; Bacharela em Museologia, em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis e em Turismo. Pós-doutorado em Química aplicada à preservação do patrimônio documental. Professora no Departamento de Museologia da Universidade Federal da Bahia e no Programa de Pós-Graduação em Turismo e Patrimônio da Universidade Federal de Ouro Preto.

Camila Benatti: Doutora em Geografia; Possui Pós-doutorado em Geografia. É Professora no curso de Geografia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Coordenadora Adjunta do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEMS e Professora do Programa de Pós-Graduação em Turismo e Patrimônio da Universidade Federal de Ouro Preto. É Líder do CULTRE - Núcleo de Estudos Geográficos em Cultura, Religiosidade e Educação.

Texto recebido em: 27/01/2026
Texto aprovado em: 01/05/2026