O PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO PERANTE OS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA PORTA DE ENTRADA NA AMAZÔNIA: estratégias de preservação [1]

SANJAD, Thais A. B. Caminha (1); PALÁCIOS, Flávia Olegário (2); CARMO, Alexandre M. Casseb do (3)

(1) Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, thais@ufpa.br

(2) Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, flaviaop@ufpa.br

(3) Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, casseb@ufpa.br

RESUMO

Este trabalho é parte dos resultados obtidos na pesquisa intitulada "Efeito fênix: sustentabilidade e reaproveitamento de materiais na recuperação do patrimônio edificado na Amazônia", financiado pelo CNPq (Chamada CNPq/MCTI/FNDCT nº18/2021, processo 408419/2021-0), e das experiências práticas desenvolvidas pelo Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação (LACORE) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Os eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes em função das mudanças climáticas, se caracterizam como fenômenos meteorológicos não normais, por meio de chuvas torrenciais, secas prolongadas, ondas de calor e de frio, inundações, entre outros. O objetivo deste artigo é apresentar as tendências climáticas de Belém e o impacto disso nas práticas de preservação do patrimônio arquitetônico. A abordagem metodológica consistiu na análise estatística dos dados climáticos e análise descritiva dos processos de alteração das edificações e das técnicas de recuperação. Observa-se a tendência a aumento da temperatura relativa do ar, da frequência de tempestades, com índices pluviométricos cada vez maiores. Intervenções tendem a aprimorar técnicas para conter o acesso da água na edificação. Este trabalho contribui para o campo da tecnologia da preservação e da restauração arquitetônica, laça novos desafios teóricos e tecnológicos sobre como preservar edifícios históricos, cuja idade os tornam mais vulneráveis às ações climáticas.

Palavras-chave: clima; eventos extremos; preservação arquitetônica; tecnologia da restauração; Amazônia.

---

[1] SANJAD, Thais A. B. Caminha (1); PALÁCIOS, Flávia O. (2); CARMO, Alexandre M. Casseb do (3). O patrimônio arquitetônico perante os eventos climáticos extremos na porta de entrada da Amazônia: estratégias de preservação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. Anais... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-14. DOI 10.46421/sbqp.v9i.8235

ABSTRACT

This paper is part of the results obtained in the research entitled "Phoenix Effect: Sustainability and Material Reuse in the Restoration of Built Heritage in the Amazon", funded by the CNPq (Call CNPq/MCTI/FNDCT nº 18/2021, process 408419/2021-0), and of the practical experiences developed by the Laboratory of Conservation, Restoration, and Rehabilitation (LACORE) of the Federal University of Pará (UFPA). Extreme weather events, increasingly frequent due to climate change, are characterized by abnormal meteorological phenomena, such as torrential rains, prolonged droughts, heat and cold waves, floods, among others. The objective of this article is to present climate trends in Belém and their impact on architectural heritage preservation practices. The methodological approach consisted of statistical analysis of climate data and descriptive analysis of building alteration processes and restoration techniques. There is a trend toward increasing relative air temperature, increasing the frequency of storms and rainfall. Interventions tend to improve techniques for containing water access to buildings. This work contributes to the field of architectural preservation and restoration technology, raising new theoretical and technological challenges on how to preserve historic buildings, which age makes them more vulnerable to climate change.

Keywords: *climate; extreme events; architectural preservation; restoration technology; Amazon.*

1. INTRODUÇÃO

O intemperismo é um processo natural, inevitável, cujo termo inicialmente era utilizado na geologia para explicar a ação climática na desagregação e na decomposição das rochas na superfície terrestre, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Desde a segunda metade do século XX, principalmente nas últimas décadas, este termo começou a ser utilizado para explicar as alterações das rochas ornamentais aplicadas nas edificações, ocorridas a partir de uma adaptação natural ao ambiente que estão localizadas, diferenciando-se assim das ações provocadas por meios antrópicos.

Sabe-se que a rocha está presente nas obras arquitetônicas dos vários momentos da história, das mais diversas civilizações, e sua aplicação variava de acordo com a disponibilidade na região e na possibilidade de importação de outros locais. Antes mesmo de relacionar as alterações da rocha ao estudo do intemperismo, propriamente dito, Vitruvius já apresentava, no livro II, recomendações sobre a localização da rocha em edifícios fazendo analogias entre as características do material e seu desgaste quando no exterior (RUA, 1998), ou seja, partiam do comportamento mecânico que a rocha apresentava no seu ambiente natural. Estas preocupações técnicas, aliadas a ações de preservação, contribuíram para a permanência, nos dias atuais, de muitas obras icônicas da arquitetura do passado.

O estudo do intemperismo foi e continua sendo aplicado para toda a diversidade de materiais construtivos de modo a explicar as suas alterações a partir das ações do clima. Outros estudos clássicos sobre degradação de materiais porosos de edificações, como o de Torraca (2005) e o de Oliveira (2011), também compreendem as alterações dos materiais e estruturas a partir de processos físicos, químicos e biológicos, porém sem separar previamente pela classificação envolvendo agentes intempéricos e antrópicos.

Entender como as ações intempéricas atuam nos materiais das edificações tem sido objeto de pesquisas diversas. Jeanete (1987) sintetiza a trajetória de produção de conhecimento, no caso do intemperismo em rochas em edificações, da seguinte maneira:

- No início do século XIX são bem conhecidos os processos de alteração das rochas e começam a ser propostos produtos para aumentar a resistência delas;

- A segunda metade do século XIX corresponde ao uso de argamassas de cimentos silicosos, geralmente com teor altamente alcalino, que resultou em degradações de rocha com profundidades nunca observadas;

- O início do século XX, com a utilização de produtos industrializados como tijolo, cimento e concreto, sem levar em consideração as propriedades físicas ou as condições que levam à degradação destes produtos, começaram a surgir estudos sobre: as formas das alterações, as condições e fatores que proporcionam o seu aparecimento; a distinção entre alteração física e alteração química e a importância da umidade no processo de alteração das rochas; a influência das condições atmosféricas e da fumaça/fuligem que leva à formação de gipso em climas semiáridos; influência da evaporação controlando a posição da cristalização de sais; relação da não cristalização de sais em superfícies que são lavadas pela chuva, onde, em contrapartida ocorre um agravamento dos processos de dissolução

do material em função da acidez da precipitação pluviométrica; e a consequência do fechamento dos poros, seja através da cristalização de sais, seja através da aplicação de uma película protetora na superfície da rocha;

- Na segunda metade do século XX, os parâmetros físicos, como porosidade, permeabilidade e capilaridade, foram tidos como fatores importantes a serem considerados no processo de degradação de rochas.

No século XXI, o conhecimento das diversas ciências (biologia, geologia, química, engenharia, entre outras) continuou avançando, e obteve resultados importantes sobre como preservar as rochas e tantos outros materiais das edificações, considerando as especificidades de cada um. Observa-se que os temas dos estudos eram voltados, principalmente, para os materiais e seus produtos de alteração, o que resultou no desenvolvimento de materiais aprimorados, novas tecnologias construtivas e novos procedimentos de restauro.

Voltando aos estudos sobre intemperismo, observa-se também a contribuição dos estudos sobre os meios de registrar as ações e suas respectivas intensidades. Viles et al. (1997) apud Fitzner; Heinrichs; Bouchardiere (2003), estabeleceram um parâmetro para classificar o grau do intemperismo em diferentes escalas de degradação da rocha, dividindo-a em nano-escala (< mm), micro-escala (mm a cm), meso-escala (cm a m) e macro-escala (totalidade da fachada ou monumento).

Fitzner, Heinrichs e Kownatzki (1995) desenvolveram um padrão de classificação das alterações intempéricas em rochas usadas em monumentos históricos e Fitzner e Heinrichs (2002) criaram um método de mapeamento das formas de alteração, que compreende o registro dos tipos de rochas, a classificação dos danos provocados pelo intemperismo de acordo com o tipo, a intensidade e distribuição, as ilustrações e resultados obtidos a partir da leitura do mapeamento. O resultado do levantamento é um mapa objetivo, reproduzível, com os tipos de rochas e suas respectivas alterações intempéricas, que possibilita entender os tipos de danos em função das rochas e das características dos monumentos, informando suas causas, a progressão dos danos, a necessidade ou urgência de medidas preventivas, além de recomendações apropriadas para elas. Representa ainda um método econômico não destrutivo de diagnóstico.

À peculiaridade de cada caso corresponde à necessidade da realização de algumas modificações nos métodos, como ocorreu no trabalho realizado com monumentos no Egito (FITZNER; HEINRICHS; BOUCHARDIERE, 2003), cuja escala de deterioração foi classificada em meso-escala e houve a necessidade de dividir a classificação das formas de intemperismo em quatro grupos. Nesse caso, o mapeamento teve que ser realizado de acordo com a idade das áreas do templo egípcio.

No Brasil, Silva e Roeser (2003) realizaram mapeamento das deteriorações de alguns monumentos de pedra-sabão de Ouro Preto. No trabalho os autores tomaram por base a proposta de Fitzner, Heinrichs e Kownatzki (1995) para a classificação das deteriorações. Fitzner et. al (1993), também realizaram um trabalho sobre investigação do intemperismo de rochas em monumentos (edifícios e esculturas) em cidades mineiras. O mapeamento é utilizado ainda para registrar as alterações dos demais materiais de construção em edificações históricas, uma prática há muito utilizada nos trabalhos de levantamento cadastral que antecedem as obras de

restauração das edificações.

O intemperismo em regiões de clima tropical úmido pode atingir intensidades de dez a vinte vezes superiores quando comparado com regiões de clima frio (Strakhov, 1967 apud Thomas, 1994). Diante do cenário atual de mudanças climáticas, observa-se que isso pode impactar diretamente na preservação do patrimônio cultural. É urgente, portanto, a proteção e adaptação do patrimônio ao clima, e dentre as várias contribuições que a universidade pode oferecer é monitorar o estado de conservação dos bens, desenvolver pesquisas sobre os impactos das mudanças climáticas, e no caso do LACORE, desenvolver estudos voltados para novos materiais e tecnologias voltadas para. Proteção e adaptação do edifício ao clima.

O objetivo deste trabalho é apresentar a tendência de mudanças climáticas na cidade de Belém, conhecida como porta de entrada da Amazônia, e o impacto disso nas práticas de preservação do patrimônio arquitetônico.

Este trabalho tem como abordagem metodológica: 1) a análise estatística das variáveis de interesse, no período de 1961 a 2024, buscando identificar a sazonalidades e possíveis tendências na série histórica de cada um dos seguintes parâmetros físicos: vento a superfície (m/s), precipitação pluviométrica (mm) e insolação (h); 2) a análise descritiva dos problemas de conservação por ação intempérica nas edificações de Belém, e das técnicas de intervenções restaurativas, aprimoradas ou desenvolvidas, voltadas para a maior durabilidade dos procedimentos, principalmente frente aos fenômenos climáticos.

2. O CLIMA DE BELÉM E A TENDÊNCIA DE MUDANÇAS ENTRE 1961 E 2024

A região metropolitana de Belém (RMB) está localizada na região costeira do estado do Pará, na porção oriental da Amazônia, e tem um dos climas mais chuvosos da região, caracterizado por totais anuais de aproximadamente 3000 mm, com variabilidades em torno de 300 a 450 mm de precipitação (Sodré e Rodrigues, 2013; Mu e Jones, 2022). O ambiente é sensível a variabilidades atmosféricas de diversas escalas, dentre as quais destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é um fenômeno de larga escala, cuja variabilidade espaço-temporal explica muito do regime chuvoso do Norte e Nordeste brasileiro, mas que atua como o principal sistema chuvoso na RMB (Souza, et al.,2016; Rebelo et al., 2023). Por sua vez, a intensificação do crescimento urbano e a conversão de áreas florestadas, em superfícies impermeáveis, alteram a rugosidade superficial, impactando o balanço energético, a temperatura do ar, os padrões de precipitação e a circulação atmosférica regional. Estudos recentes, utilizando dados de satélite Landsat de 1985 e 2021, indicaram um aumento de quase 17% na cobertura artificial (áreas urbanizadas) em direção aos distritos do norte da RMB e às ilhas de Outeiro/Mosqueiro. Os autores também identificaram aumento significativo de temperatura do ar nas áreas urbanizadas em comparação a áreas naturais (Furtado, et al. 2024).

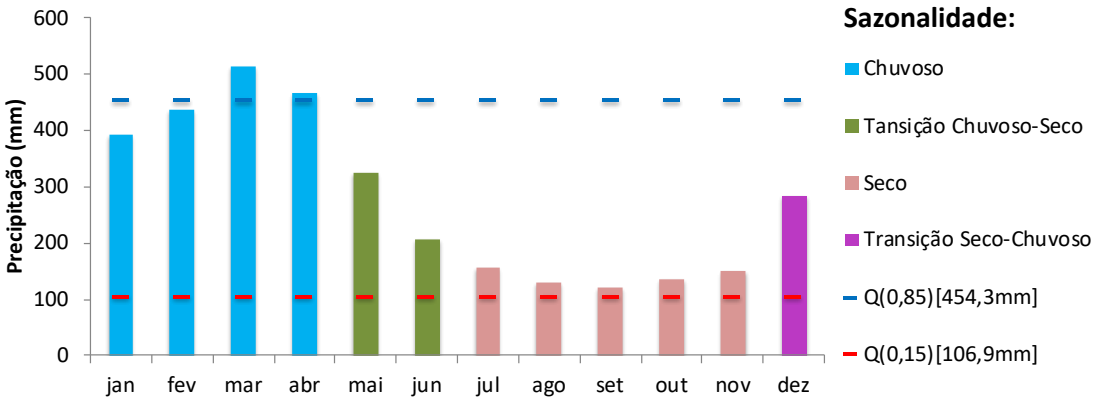
a. Circulação Atmosférica

O escoamento atmosférico de superfície, na RMB, varia muito pouco ao longo de um ciclo sazonal, basicamente, entre de leste (predominante de abril a agosto) e de nordeste (predominante de setembro a março), o ano todo. Além disso, os resultados aqui obtidos, mostram que, atualmente, a RMB está localizada na parte central da convergência entre dois canais de escoamento médio climatológico: um a norte, no sentido nordeste-sudoeste, e outro que flui de nordeste para sul, em forma de arco, partindo do litoral nordeste paraense, e estendendo-se para sul da RMB, respectivamente, entre os municípios de Tracuateua e Cametá.

b. Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica

Os resultados obtidos para a classificação do regime pluviométrico da RMB, podem ser observados na Figura XX. Seguiu-se, como referência, o período escolhido pelo INMET, o triênio de 1991 a 2020, como sendo suficientemente para representar as características médias do clima de qualquer lugar no território brasileiro. O cálculo dos quantis Q(0,85)[454,3mm], Q(0,65)[349,7mm], Q(0,35)[173,4mm] e Q(0,15)[106,9mm], resultou nos limiares, utilizados para a identificação dos períodos sazonais. Assim, encontrou-se que a estação chuvosa, na RMB, compreende os meses de janeiro a abril (4 meses), destacando-se o mês de março, como o mais chuvoso – 13% acima do quantil Q(0,85). A estação pouco chuvosa ou "seca" (por simplificação deste ponto em diante) é mais duradoura, estendendo-se por 5 meses, de julho a novembro, destacando-se o mês de setembro como o de menor pluviosidade média mensal – 12% acima do quantil Q(15%). O período de transição Chuvoso-Seco estende-se de maio a junho (2 meses) enquanto a transição Seco-Chuvoso é bem mais curta, durando apenas o mês de dezembro.

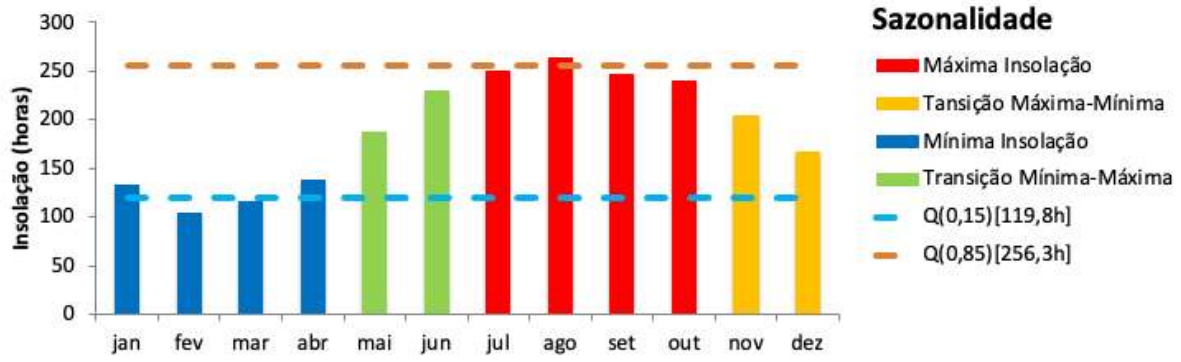
Figura 1 – Regime pluviométrico de Belém-PA. Os totais pluviométricos(P) médios para o período 1991-2020, foram classificados através da técnica dos quantis, como se segue: o período chuvoso, onde P>Q(0,65)[349,7mm]; Período Seco, onde P<Q(0,35)[173,4mm] e períodos de transição onde Q(0,35)[173,4mm]<P< Q(0,65)[349,7mm]. Os quantis Q(0.85) e Q(0,15), estão destacados na figura para melhor visualização dos extremos do ciclo sazonal local.



c. Sazonalidade da Insolação

O ciclo sazonal da insolação à superfície, na RMB, também obtido através da técnica dos quantis, resultou nos seguintes limiares: Q(0,85)[256,3h], Q(0,65)[231,8h], Q(0,35)[157,3h] e Q(0,15)[119,8h]. Os resultados, são apresentados na Figura 2, e mostram que o ciclo sazonal da insolação é mais simétrico que o regime pluviométrico local, no que se refere a duração de cada fase. Os resultados obtidos mostram intervalos iguais de 4 meses para os períodos de máxima (julho a outubro) e mínima (janeiro a abril) insolação. Os períodos de transição são compostos por dois meses, cada: de novembro a dezembro ocorre a transição Máxima-Mínima; e de maio a junho, ocorre a transição Mínima-Máxima. Durante o período de máxima insolação, o mês de agosto se destaca com totais que superam, em até 3,3%, o quantil Q(0,85), em média climatológica. Durante o período de mínima insolação, o mês de fevereiro se destaca pelos menores totais médio mensais, cerca de 13% inferiores ao quantil Q(0,15).

Figura 2 – Sazonalidade da Insolação em Belém-PA. Os totais de insolação (I) médios para o período 1991-2020, foram classificados através da técnica dos quantis, como se segue: estação de Máxima Insolação, quando I>Q(0,65)[231,8h]; estação de Baixa Insolação, onde I<Q(0,35)[157,3h] e períodos de transição onde Q(0,35)[157,3h]<P< Q(0,65)[231,8h]. Os quantis Q(0,85) e Q(0,15), estão destacados na figura para melhor visualização dos extremos do ciclo sazonal local.



A proximidade entre a mínima insolação (fevereiro) e a máxima pluviosidade (março), assim como, a proximidade entre a máxima insolação (agosto) e a mínima pluviométrica, marcam um "momento de inversão" na parte central das estações chuvosa e seca, na RMB. O efeito combinado da proximidade da ZCIT e do aumento da ocorrência das Linhas de instabilidade tropicais (LIs), a partir de outubro parecem explicar a rápida transição da estação seca para a chuvosa, por serem os dois principais fenômenos, geradores de chuvas, na região.

d. Tendência do clima regional

Estudos recentes têm apontado para o aumento na frequência de eventos extremos em áreas urbanas, do mundo todo, relacionadas a enchentes, secas e ondas de calor, com consequente impacto social e ambiental (Zhou, et al. 2023). No Brasil, as diferenças demográficas, sociais e ambientais dificultam a avaliação de vulnerabilidade a extremos climáticos, em escala nacional. Considerando isso, Souza et al. (2024), propuseram uma análise em escala regional, focando em municípios da Amazônia brasileira, com menos de 50 mil habitantes. Os autores analisaram 24 projeções de modelos climáticos globais (GCMs) do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), e utilizaram dois cenários futuros de emissões (SSP2-4.5 e SSP5-8.5) para projetar as mudanças climáticas e seus impactos nos pequenos municípios da Amazônia. Segundo os autores, os cenários futuros indicam uma intensificação generalizada dos eventos climáticos extremos, em toda a Amazônia brasileira, com ênfase no estado do Pará, categorizado como de alto risco em ambos os cenários. Estes resultados reforçam aqueles obtidos por Santos et al.(2017) e Rebelo et al.(2023), para a mesorregião de Belém, composta pelos municípios: Ananindeua, Barcarena, Belém, Benevides, Bujaru, Castanhal, Inhangapi, Marituba, Santa Barbará do Pará, Santa Isabel do Pará e Santo Antônio do Tauá. Os autores analisaram uma série histórica de indicadores socioeconômicos, epidemiológicos e climáticos, no período de 2000 a 2010 (11 anos). Seus resultados apontam que o município de Belém, em relação aos demais, é o de mais alta vulnerabilidade climática, devido aos altos índices de precipitação extrema e à influência de fenômenos climáticos que intensificam esses eventos.

Baseado no contexto abordado acima, este tópico apresenta os resultados sobre a tendência climática para cada mês do ciclo sazonal, obtidos através de técnicas estatísticas robustas, aplicadas sobre três importantes indicadores do clima regional

na RMB, quais sejam: os totais mensais de precipitação pluviométrica, insolação e temperatura média do ar, relativos ao período de 1967 a 2024.

Os resultados obtidos para a precipitação pluviométrica, estão alinhados com estudos anteriores, no contexto das mudanças climáticas. Identificou-se tendência significativa de aumento nos totais pluviométricos para os dois últimos meses da estação chuvosa, março e abril, e surpreendente aumento da pluviosidade do período de transição entre a estação chuvosa e seca, nos meses de maio e junho. Além disso, o mês final da estação seca, novembro e o único mês de transição do período seco para o chuvoso, dezembro, também revelam tendência significativa para aumento dos totais pluviométricos. Logo, os resultados sugerem uma tendência para a expansão do período chuvoso e contração do período seco. A tendência da insolação, é de neutralidade para a maior parte do ciclo sazonal, exceto para setembro, quando apresenta aumento. Considerando que o mês de agosto é caraterizado por apresentar a mais alta insolação do período de máxima, os resultados sugerem a tendência para a manutenção de níveis extremos de insolação sobre a RMB. Os resultados para a temperatura do ar, indicaram tendência significativa de aumento em todos os meses. Estes resultados corroboram com Furtado et al. (2024), que sugeriu como principal fator responsável o processo de urbanização desordenada e sistemática na RMB.

3. PROBLEMAS DE CONSERVAÇÃO EM EDIFICAÇÕES DECORRENTES DA PRESENÇA DA ÁGUA E DAS ALTAS TEMPERATURAS E OS "NOVOS CAMINHOS" PARA INTERVIR

A degradação dos materiais porosos, pela presença da água nas suas várias formas de manifestação, é um tema há muito explorado, sendo a correta identificação da causa da presença de umidade na edificação o mais importante caminho para combater e corrigir o problema. A umidade é um dos principais agentes de deterioração dos materiais das edificações históricas.

Diversas técnicas foram desenvolvidas para tratar os problemas gerados e para prevenir o aparecimento deles. Diante dos novos desafios advindos a partir das mudanças climáticas, seriam estas técnicas ainda úteis? Seria necessário aprimorá-las? Ou a adoção de novos caminhos é o mais adequado para solucionar os problemas advindos com a nova realidade climática?

Não se trata agora apenas de efetuar um diagnóstico correto sobre o tipo de umidade para poder tratar o problema, mas sim identificar a atualidade ou não das soluções até então aplicadas nas edificações históricas.

a. Os materiais porosos, tipos de umidade nas edificações e tratamentos usuais

Diversos são os fenômenos que atuam de degradação dos materiais porosos. Oliveira (2011) elenca como principais: tensões superficiais de cristalização, dissolução de componentes solúveis, gelo e degelo na porosidade dos materiais, ataques biológicos em diferentes escalas, vandalismo e intervenções desastrosas, choque térmico, estresse mecânico, fenômenos de vibração, ação química promovida por poluentes e pela água, radiação pela luz natural e/ou artificial.

Torraca (2005) apresenta a deterioração de materiais porosos como resultado das ações de processos químicos atuando em conjunto com processos físicos, considerando o estresse imposto pelo ambiente em que se localiza e o estresse que atua internamente no material, em situações especiais, podendo assim ser definido como, um tipo peculiar de corrosão sob tensão, interno e externo, combinado com processos químicos. O autor explica ainda que a presença da água é fundamental para que ocorram ações químicas, e para a formação de estresse interno.

Henriques (2007) divide a manifestação da umidade nas edificações em seis grupos: umidade de construção, umidade do terreno, umidade de precipitação, umidade de condensação, umidade por fenômenos de higroscopicidade e umidade ocasional. A umidade de precipitação é nosso maior ponto de preocupação em relação às mudanças climáticas para entender os novos velhos caminhos da intervenção que se fazem necessários. É importante lembrar que outros tipos de umidade podem estar associados a ela.

Alguns estudos apresentam correlações entre as ações intempéricas e a forma de construir, como em Oliveira (2011) que diz que, se a parede for bem construída a água da chuva com vento não ultrapassa a mesma. Henriques (2007) explica que quanto maior for a intensidade do vento, maior será a trajetória da chuva no sentido horizontal, ocasionando maiores riscos pelo umedecimento de parâmetros interiores, assim como a diminuição da resistência térmica dos materiais constituintes. O autor explica que a ação da água da chuva em uma parede pode infiltrar a umidade através de fissuras, fraturas ou mesmo juntas mal vedadas, além de poder originar

uma cortina de água que pode penetrar na parede por gravidade via pressão do vento ou mesmo por capilaridade nos materiais.
Henriques (2007) divide as soluções para as anomalias provocadas pela ação da água da chuva sobre as paredes em dois grupos: 1) danos provocados pela deficiência de estanquidade das paredes: ocasionadas por problemas construtivos, erros de projeto ou de execução, falha na manutenção e inadequação do material ao tipo de exposição que está sujeito; e 2) danos devido a infiltração por meio de fissurações, que podem ser pequenas e estabilizadas, ou mesmo de largura significativa, e aquelas não estabilizadas.
No caso das deficiências de estanquidade, Henriques (2007) propõe como solução: 1) substituição dos revestimentos existentes por novos; 2) aplicação de produto hidrófugo nas superfícies externas; 3) aplicação de revestimento externo curativo, com ligante sintético; 4) aplicação de revestimento de exterior com elementos descontínuos. No caso das deficiências por infiltração, o autor propõe as seguintes soluções: 1) aplicação de revestimentos curativos com ligantes sintéticos; 2) aplicação de revestimentos curativos com ligantes sintéticos, armados com rede de fibra de vidro, após tratamento das fissuras.
Oliveira (2011) cita outras técnicas mais invasivas para conter a presença de água nas paredes, como o controle de umidade ascendente, que pode ocorrer pela presença de água dispersa ou pelo contanto com o lençol freático, Neste caso, o autor apresenta diferentes métodos para o controle do problema como: 1) o método de Koch que consiste na redução da superfície de absorção; 2) o método da barreira física, inicialmente com lâmina de chumbo inserida em frestas abertas na parede, modernizado pelo método de Massari, que utiliza resina sintética no lugar do chumbo; 3) o método da barreira química, que consiste na aplicação de resinas a base de silicone, em perfurações de 10 a 12 cm na base da parede, cuja absorção acontece por meio da ação da gravidade preenchendo a porosidade do material.
Técnicas para conter a umidade descendente proveniente de problemas na cobertura, também foram desenvolvidas. Oliveira (2011) explica a técnica sobre a impermeabilização asfáltica da parte superior da parede e o tratamento das extremidades dos barrotes que se apoiam na parede.

b. Técnicas desenvolvidas, revisitadas e/ou aprimoradas

O aumento da resistência dos materiais e da durabilidade dos procedimentos sempre foi, e continua sendo, o principal objetivo a ser alcançado nas intervenções. No entanto, no caso de Belém, cujas mudanças climáticas apresentam maior tendência ao aumento de tempestades e da temperatura, a estabilidade e longevidade das ações de conservação e restauro reforça essa preocupação para possibilitar que as edificações históricas, construídas com técnicas retrospectivas e, portanto, mais vulneráveis, de um modo geral, resistam a tais fenômenos e possam permanecer para as futuras gerações.
Uma das alterações mais frequentes nas edificações de Belém diz respeito a umidade descendente (de precipitação) proveniente de falhas na cobertura. O próprio sistema construtivo, muitas vezes, contribui para o surgimento deste processo de deterioração, que pode ser em função de: desalinhamento de telhas, utilização de telhas de diferentes tamanhos nas intervenções, apodrecimento da estrutura de

madeira ocasionando desnivelamento, inclinação inadequada, calha com dimensão insuficiente, entre outros. Em muitos casos, os telhados são de difícil acesso, não possibilitam visitas com segurança, dificultando assim processos de inspeção e de recuperação. Dessa maneira, a cobertura é um dos componentes de uma edificação histórica mais susceptível às alterações em uma intervenção restaurativa. As intervenções em edificações de maior porte, como na arquitetura religiosa, promovem, geralmente, inserções de novos elementos que possibilitam o acesso seguro à cobertura para manutenção periódica. Além, de passarelas no interior da cobertura, inserção de calhas de concreto discretas com o acabamento em beiral, impossíveis de ser percebidos de baixo, fixação de telhas com grampos e encaliçamento, substituição de todas as telhas por outras também cerâmicas e do mesmo tamanho, entre outros, a inserção de subcoberturas é uma prática que vem ganhando cada vez mais importância, porque consegue conter nela qualquer umidade proveniente de falhas na cobertura. Trata-se de uma técnica que vem sendo aprimorada em relação ao material utilizado e como ele é fixado na estrutura e segue sendo aplicada em todos os telhados de edificações históricas de Belém. Atualmente, esta subcobertura é feita com chapas de alumínio moldadas para encaixar entre os caibros.

A presença de umidade ascendente também é frequente nas edificações, mas as técnicas comumente aqui utilizadas corresponde a eliminação da fonte de alimentação da água, geralmente originada por caimentos inadequados, na direção da parede, e aplicação de um produto impermeabilizante numa das faces da alvenaria. No entanto, estudos da década de 80 do século passado já apontavam a importância da utilização de barreiras mais extensas, físicas ou químicas para impedir a ascensão da umidade por capilaridade.

A dificuldade de aplicação, incerteza de sucesso na resolução do problema e o custo elevado do serviço induz a ser uma técnica pouco utilizada nas intervenções restaurativas nas edificações de Belém, mas já aplicada em edificações com constantes problemas de umidade ascendente com resultados positivos.

Para além de revisitar técnicas de intervenção e promover a sua melhoria tecnológica, existem caminhos que focam diretamente no material, pois na atualidade, a grande maioria do patrimônio edificado brasileiro tem mais de cem anos exposto às intempéries e são grandes as chances de muito dos materiais constituintes destas edificações terem alcançado o fim da sua vida útil, o que resulta no descarte e/ou reaproveitamento destes componentes.

Estudos voltados para o reaproveitamento de materiais que atingiram o tempo de vida útil tem sido uma alternativa para a salvaguarda do patrimônio azulejar brasileiro. Em Belém, recente intervenção no Cemitério Parque da Soledade, foram aplicadas técnicas de restauro a quente em azulejos com elevado estágio de deterioração, cuja fragilidade e vulnerabilidade às ações climáticas, torna inviável o restauro deles com a técnica a frio, para depois voltarem para o seu local de origem. O restauro a quente permite de obter um objeto com características semelhantes de quando foi feito, sem grandes alterações na sua composição, e cujos resultados obtidos são: diminuição de carbonatos, eliminação de manchas orgânicas na camada vitrificada, aumento do brilho do azulejo, fortalecimento da aderência do vidrado na parte cerâmica. Trata-se de uma técnica que elimina as marcas do tempo, mas permite ampliar a vida útil do azulejo que seria descartado na intervenção

4. CONCLUSÕES

O estudo do clima regional da Região Metropolitana de Belém (RMB) analisou os efeitos das mudanças na rugosidade superficial entre 1961 e 2024, utilizando dados do INMET. Os principais indicadores climáticos foram: circulação atmosférica, temperatura do ar, insolação e precipitação pluviométrica.

A análise de tendência climática, utilizando os testes de Mann-Kendall e Theil-Sen, sugere uma expansão do período chuvoso e contração do período seco. A insolação apresenta uma tendência de neutralidade na maior parte do ciclo sazonal, com exceção de setembro, que mostra um aumento, sugerindo uma tendência a manutenção das máximas de agosto. A temperatura do ar apresentou uma tendência significativa de aumento em todos os meses. Os resultados da temperatura do ar corroboram com estudos recentes, que apontam a urbanização desordenada como principal fator responsável pelo aumento da temperatura na RMB.

Os dados climáticos revelaram assim a necessidade de rever técnicas de intervenção restaurativas de modo a aprimorá-las e até mesmo desenvolver novas tecnologias voltadas para a durabilidade dos procedimentos em um ambiente mais agressivo em relação ao aumento da temperatura e da intensidade e frequência das chuvas.

Além disso, é importante salientar que o elenco edificado do patrimônio cultural brasileiro já encontra-se, de um modo geral, em um estado de maior vulnerabilidade perante os agentes intempéricos após anos de exposição, e em várias situações, a mudança no sistema construtivo de coberturas, ou mesmo o retorno de um azulejo histórico para a sua imagem inicial, são caminhos que merecem ser melhor discutidos dentro de um novo conceito, que visa a permanência do bem para as futuras gerações, considerando a possibilidade de transformação

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

de Souza, E.B.; Silva, B.C.S.; Serra, E.M.F.; Ruiz, M.J.B.; Cunha, A.C.; Souza, P.J.P.O.; Pezzi, L.P.; da Rocha, E.J.P.; Sousa, A.M.L.; Silva, J.d.A., Jr.; et al. **Small Municipalities in the Amazon under the Risk of Future Climate Change**. Climate 2024, 12, 95.

FITZNER, B. ; HEINRICHS K.; BOUCHARDIERE, D. La. Weathering damage on pharaonic sandstone monuments in Luxor – Egypt. **Buildings Environment**, 2003 [S.l], n. 38, p. 1089 – 1103.

FITZNER, B.; HEINRICHS K.; KOWNATZKI, R. **Weathering forms**: classification and mapping. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1995. 88 p.

FITZNER, B.; HEINRICHS, K. Damage diagnosis on stone monuments – weathering forms, damage categories and damage indices. In: PRIKRYL, R.; VIILES, H.A. (Ed.). **Understanding and managing stone decay.** Prague: The Kaolinum, 2002

Furtado, L.S.; Pereira, R.V.S.; de Souza, E.B. **Hemeroby Mapping of the Belém Landscape in Eastern Amazon and Impact Study of Urbanization on the Local Climate**. Urban Sci. 2024, 8, 15. https://doi.org/10.3390/urbansci8010015

JEANNETTE, D. Importance of the pore structures during the weathering process of stones in monuments. In: PAQUET, H; CLAUER, N. (Ed.). **Soils and sediments mineralogy and geochemistry** . Germany: Springer, 1997. p. 177 – 190.

Oliveira, Mário Mendonça de. **Tecnologia da Conservação e da Restauração: Materiais e Estruturas.** Salvador: EDUFPA, 2011

Rebelo, M. S., Souza, E. B., Lobato, R. R. C., Gomes, D. J. C. **Variabilidade espaço-temporal dos regimes pluviométricos sazonais na Região Metropolitana de Belém**. Revista Brasileira de Geografia Física v. 16, n. 05 (2023) 2345-2359

Santos, Thiago Oliveira. **Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão.** Revista Geográfica Acadêmica, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017.

Sodré, G.R.C., Rodrigues, L.L.M.. **Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil**, Revista Brasileira de Geografia Física, 2013 6 (2), 301-307.

Souza, E. B.; Carmo, Alexandre Melo Casseb; Moares, Bergson Cavalcante; Nacif, Adelaide; Ferreira, Douglas Batista Da Silva; Rocha, Edson José Paulino; Souza, Paulo Jorge De Oliveira Ponte. **Sazonalidade Da Precipitação Sobre A Amazônia Legal Brasileira: Clima Atual E Projeções Futuras Usando O Modelo Regcm4** (Seasonal Precipitation Over The Brazilian Legal Amazon: Climate Current And Future Projections Using Regcm4 Model). Revista Brasileira De Climatologia, V. 18, P. 293-306, 2016.

THOMAS, M.F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denundation in low latitudes. New York: John Wiley & Sons, 1994. 460 p.

TORRACA, G. 1988. **Porous building materials**. Roma: ICCROM. 149 p.

Zhou, S.; Yu, B.; Zhang, Y. **Global concurrent climate extremes exacerbated by anthropogenic climate change**. Sci. Adv. 2023, 9, eabo1638.