XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Estratégias para gerenciamento climático em museus: revisões de parâmetros internos para a eficiência energética

Estrategias para la gestión del clima en los museos: revisions de parâmetros internos de la eficiência energética.

Strategies for Climate Management in Museums: revisions of indoor standards for energy efficiency

Marcondes, Daniela
Arquiteta, aluna do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, Construinova, Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, dvmarcondes@usp.br

Sowmy, Daniel
Doutor, Escola Politécnica USP, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, dss@usp.br

Desempenho Térmico do Ambiente Construído/ *Rendimiento térmico en el entorno construido/*

Thermal performance in the built environment

Resumo

O controle adequado do clima interno em museus é crucial para a conservação do patrimônio cultural, a proteção das obras de arte, o conforto dos visitantes e a eficiência energética. O artigo apresenta abordagens para a gestão climática em museus, utilizando indicadores da ASHRAE para classificar riscos das obras de arte e definir variações mensais que ajustem mudanças entre inverno e verão. A proposta inclui reclassificação de riscos, avaliação do desempenho dos edifícios e metas de redução de consumo, visando otimizar sistemas de climatização e garantir conforto aos visitantes, a partir da compilação de experiências de museus europeus para aplicação no Brasil. São apresentados dois estudos de caso realizados em museus europeus, que demonstram reduções expressivas no consumo energético, destacando a metodologia que poderá ser aplicada para os mesmos propósitos em museus brasileiros

Palavras-chave: Controle climático. Eficiência Energética. Conforto Ambiental. Ambiente interno de Museus.

Resumen

Una adecuada climatización del clima interior de los museos es crucial para la conservación del patrimonio cultural, la protección de las obras de arte, la comodidad de los visitantes y la eficiencia energética. El artículo presenta enfoques para la gestión del clima en los museos, utilizando indicadores ASHRAE para clasificar los riesgos de las obras de arte y definir variaciones mensuales que se ajustan a los cambios entre invierno y verano. La propuesta incluye la reclasificación de riesgos, la evaluación del rendimiento de los edificios y los objetivos de reducción del consumo, con el objetivo de optimizar los sistemas de aire acondicionado y garantizar el confort de los visitantes, recopilando experiencias de museos europeos para su aplicación en Brasil. Se presentan dos estudios de caso realizados en museos europeos que demuestran reducciones significativas en el consumo de energía, destacando la metodología que se puede aplicar para los mismos fines en los museos brasileños

Palabras clave: Climatización. Rendimiento energético. Confort ambiental. Ambiente interior del museo

Abstract

Proper indoor museum1s climate control is crucial for the conservation of cultural heritage, the protection of collections, visitor comfort, and energy efficiency. The paper presents approaches to climate management in museums, using ASHRAE indicators to classify risks from collections and define monthly variations that adjust for changes between winter and summer. The proposal includes risk reclassification, evaluation of building performance and consumption reduction targets, aiming to optimize air conditioning systems and ensure comfort for visitors, compiling experiences from European museums for application in Brazil. Two case studies carried out in European museums are presented that demonstrate significant reductions in energy consumption, highlighting the methodology that can be applied for the same purposes in Brazilian museums

Keywords: Climate control. Energy Efficiency. Environmental Comfort. Indoor Museum Environment

Introdução

A conservação de obras de arte pressupõe que os fatores de degradação sejam minimizados para garantir que o patrimônio cultural possa ser disponibilizado para futuras gerações. Nesse sentido, os museus cumprem um papel fundamental entre a preservação e a apresentação das coleções para o público, em ambientes diversos e para o maior número possível de pessoas. Assim, as condições climáticas internas dos edifícios de museus são essenciais para a preservação do acervo e para o conforto térmico do público em geral. As discussões sobre o gerenciamento climático tonaram-se necessárias a partir da observação dos danos em estruturas de obras – desde a presença de mofo a retração e microfissuras em pinturas – a partir do final do século XIX, conforme apresentado por Michalski (2016, p.10).

Com o avanço tecnológico dos sistemas de condicionamento de ar, os padrões de temperatura e umidade evoluíram para garantir ambientes adequados para artefatos armazenados, expostos ou emprestados. Condições "ideais", como 50% de umidade relativa (UR), com variação admitida de ±5, e temperaturas (T) de 70 °F (21 °C), alternando ±2 em até 24 horas, tornaram-se convenções usadas por diversos profissionais de museu, aplicadas como regra, de acordo com a AIC (American Institute of Conservation). Essas especificações foram incluídas em planos de construção, políticas de cobrança e contratos de empréstimo para efetuar as melhores práticas de construção, manuseio, armazenamento e exibição das obras de arte, sendo adotadas principalmente pela facilidade de se tornar “padrão carimbo” entre os diversos profissionais envolvidos.

Segundo Pretzel (2023, p. 3747), no último quarto do século XX, estes padrões começaram a ser desafiados em termos de sua eficácia, seu custo, sua viabilidade e seus benefícios para métricas de preservação. Instituições de conservação preventiva de obras de arte como a ICC (Internacional Institute for Conservation and Artistic Works), CCI (Canadian Conservation Institute), IPI (Image Preservation Instittute), em seus planos de sustentabilidade, têm discutido a definição de guias para as necessidades de cada museu, visando a eficiência energética sem, no entanto, colocar em risco a preservação das obras de arte. Entretanto, nas instituições de conservação brasileiras, a temática de gerenciamento climático interno ainda não é discutida e grande parte dos museus ainda opera dentro dos parâmetros rígidos de climatização, mesmo que seus sistemas prediais ou suas coleções não atendam a demanda. A lacuna da literatura nacional

sobre a revisão dos métodos de gerenciamento climático, a partir dos sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento do ar, pressupõe a necessidade de pesquisas mais avançadas que considerem as especificidades de cada museu.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é apontar estratégias aplicadas em museus internacionais com resultados satisfatórios e verificar possíveis adaptações aos museus brasileiros, com métricas para a tomada de decisão sobre os ajustes necessários nos sistemas de condicionamento de ar. Como objetivo específico, propõe-se a análise de dois estudos de caso realizados em museus europeus que demonstraram reduções expressivas no consumo energético, destacando metodologias que podem ser adaptadas para os mesmos propósitos.

Estratégias para gestão climática

Em 1999, a American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) publicou orientações de projeto, designando parâmetros higrométricos para coleções e a classe de controle ambiental, com respectivos pontos de ajuste de temperatura (T), umidade relativa (UR) e as faixas de variação admitidas. A reclassificação das coleções e obras teve efeitos positivos em alguns museus, conforme demonstrado por Kramer et al. (2015, p. 1320), sem prejuízo para a conservação das obras expostas, resultando em padrões mais estáveis por períodos mais longos. É importante destacar, no entanto, que a aplicação dessas medidas, que resultou em maior economia de energia (principalmente de aquecimento), pode ser mais evidenciada em climas frios, onde as baixas temperaturas e a baixa umidade relativa externa não sofrem alterações abruptas durante a maior parte do ano.

Na tabela 01, adaptada da apresentada por Michalski (2016, p.16) para evidenciar o os dados relativos às classes AA, A1 e A2, representando o risco admitido das obras de arte pela sua materialidade, sendo AA a classe mais restritiva e A menos. A sazonalidade das estações de verão e inverno também foi revisada, permitindo ajustes específicos a partir das médias históricas observadas no mês, pelo período de um ano.

Tabela 1: Resumo das diretrizes climáticas e parâmetros específicos de acordo com a classe de controle

Classes de risco e controle (obras de arte) Guia da ASHRAE	Tipos de Controle	Desvios Toleráveis (faixas de tolerância máx. e min.)	Flutuações toleráveis de curto prazo (24 horas)	Pontos de ajuste da média anual	Parâmetros de Verão	Parâmetros de Inverno
ASHRAE classe AA (ASHRAE, 2015)	Controle rígido	45%-55% (UR) 14°C–28°C (T) 57°F–82°F (T)	±5% (UR) ±2°C (T)	50% (UR) ou a média histórica 15°C–25°C (T)	Acima de 5°C	Abaixo de 5°C
ASHRAE classe A, opção 1	Controle preciso com variações sazonais admitidas (menor variação de umidade relativa	35%–65% (UR) 9°C–28°C (T) 48°F–82°F (T)	±5% (UR) ±2°C (T)		Acima de 5°C e UR 10%	Abaixo de 5°C e UR 10%
ASHRAE classe A, opção 2	Controle preciso com variações sazonais admitidas (maior variação de umidade relativa	40%–60% (UR) 9°C–28°C (T) 48°F–82°F (T)	±10% (UR) ±2°C (T)		Acima de 5°C	Abaixo de 10°C

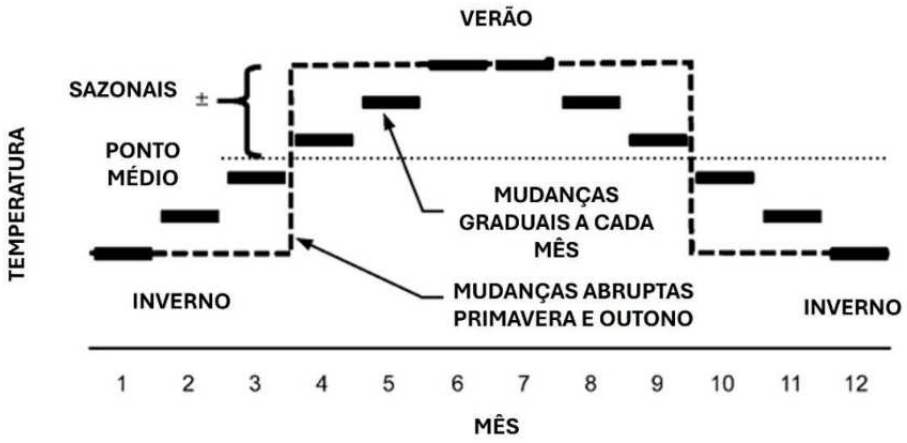
Autor: tabela adaptada do estudo de MICHALSKY, 2016

O efeito da temperatura e da umidade relativa na deterioração das obras de arte deve ser visto como um indicador e não como valores fixos para fins de conservação. Segundo Ankersmit e Stappers (2017, p. 147), nem todos os objetos se comportam exatamente da mesma forma. Portanto, a tabela deve ser usada como um indicador aproximado do clima interno desejável para o armazenamento ideal de materiais quimicamente instáveis, viabilizando estratégias para reduzir o uso de sistemas de HVAC e, consequentemente, o consumo energético.

Considerando a criticidade dos parâmetros de temperatura para a vida útil das obras de arte, os ajustes realizados no verão devem ser compensados por ajustes ainda mais significativos durante o inverno, segundo a ASHRAE (2019, p. 24.12). Assumindo um cronograma anual típico (Figura 1),

que inclui dois meses de inverno com temperaturas mínimas, dois meses de verão com temperaturas máximas e quatro meses de transição entre essas estações, a correção entre a temperatura média e a temperatura anual efetiva pode trazer reduções no consumo de energia em relação às mudanças abruptas de temperatura externa.

Figura 1 - Padrões sazonais utilizados para variações abruptas e graduais no ano



Autor: 2019 ASHRAE Handbook — HVAC Aplicações - tradução livre da autora

Segundo a ASHRAE (2019, p.24.11), a Administração Nacional de Arquivos e Registros dos EUA (NARA, 2013) ajustou o controle de umidade relativa interna de 45% para uma variação sazonal entre 30% e 50%, economizando US$ 650.000 por ano em subsídios públicos e aumentando a vida útil das coleções em até 20 %. Outro dado significativo na redução de energia foi o exemplo do Rijksmuseum, em Amsterdã, que, desde 2018, apresentou uma redução de 27% no consumo de gás e eletricidade, sendo o primeiro museu a obter a certificação BREEAM com um programa de sustentabilidade.[1] Esse programa inclui diversas iniciativas, como o armazenamento do excesso de calor para uso no inverno e o desligamento do sistema HVAC à noite. Além disso, no relatório de atividades do grupo de sustentabilidade de condições climáticas, foram realizados

[1] https://www.rijksmuseum.nl/en/about-us/what-we-do/sustainability consultado em 08.04.2025

testes na regulação do ar-condicionado com a umidade absoluta, em vez da umidade relativa, resultando em condições de ambiente interno mais estáveis.

Método

Como há uma escassez de estudos práticos aplicados a museus brasileiros que evidenciem a alteração de parâmetros de controle climático para a eficiência energética, foram selecionados dois artigos europeus com resultados satisfatórios na área, realizados nas últimas duas décadas. Esses estudos apontam caminhos e indicadores que poderão ser adaptados às instituições brasileiras, respeitando sempre as particularidades de cada edifício, coleção exposta e capacidade de manutenção da estabilidade climática do sistema HVAC implantado, além de considerar novos projetos. Para facilitar as nomenclaturas, os estudos foram numerados e inseridos na Tabela 02 para comparações entre as propostas metodológicas.

1) **Estudo 01**: Kramer, Schellen et al. (2017), *Adaptive temperature limits for air-conditioned museums in temperate climates*. Hermitage Museum – Amsterdã, Holanda. Os autores realizaram monitoramento e coleta de dados antes e depois das alterações nos parâmetros climáticos em uma sala expositiva.
2) **Estudo 02**: Zannis, Santamouris et al. (2010), *Review of museums' indoor environment conditions studies and guidelines and their impact on the museums' artifacts and energy consumption*. Diversos projetos de museus foram estudados com simulações sobre a eficiência energética, sendo:
    a. Museu Arqueológico de Delfos (Grécia)
    b. Museu Bardini (Itália)
    c. Museu Nacional "Pompeo Aria", Marzabotto (Itália)
    d. Museu de Arte Moderna, Kristinehamn (Suécia)
    e. Museu Etnográfico Esloveno, Ljubljana (Eslovênia)

A Tabela 02 demonstra que, enquanto a pesquisa 01 traz a perspectivas de análise do edifício e seu microclima interno, a pesquisa 2 traça relações de economia energética em 5 projetos de museus pela Europa, entre retrofit e novos edificios. Ambos os estudos analisam as caracteristicas

dos ambientes internos e avaliações de medições de temperatura e umidade relativa propostas para a classificação de risco de obras de arte e a consequente redução do consumo de energia.

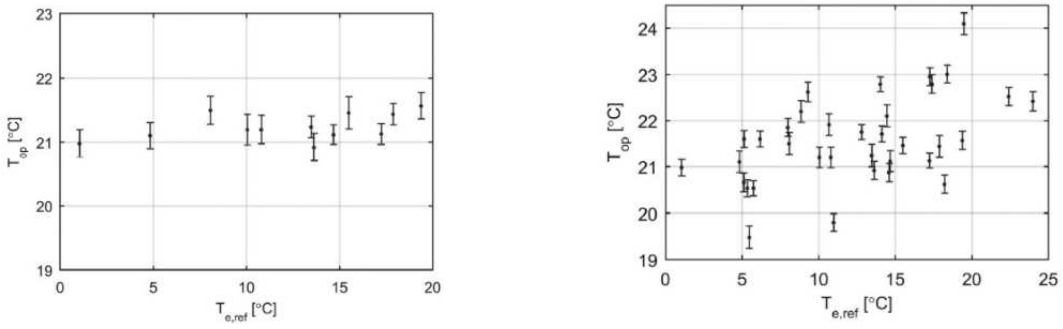
Tabela 2 - Descrição das Pesquisas

Estudos	Objetivo do Estudo	Metodologia	Descrição do Edificio
1	CONFORTO TÉRMICO DOS VISITANTES	Pesquisas com usuários para verificar o conforto térmico e medições constantes do microclima dos ambientes	O edifício é do final do século XVII em alvenaria e pedra
2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	Coleta de dados sobre consumo energético dos museus, simulação das reduções esperadas e aplicação das novas condições para avaliação do microclima	Edifícios recentemente reformados ou edifícios novos

Fonte: Elaboração própria.

O Estudo 1 realizou entrevistas com o público, por meio de questionários aplicados semanalmente, e monitoramento ambiental utilizando data loggers instalados nos mesmos locais das salas de exibição. Foi comprovado que, ao controlar a temperatura dentro dos novos limites e manter a umidade relativa entre 45% e 55%, houve uma redução anual de 49% no consumo de energia, quando comparado às condições originais (21 °C de temperatura e 50% de umidade relativa). As Figuras 02 e 03 ilustram o monitoramento da temperatura interna e externa, bem como as variações durante o período estudado.

Figura 02 e Figura 03: Temperaturas médias de funcionamento interno e desvio padrão em função da temperatura externa.

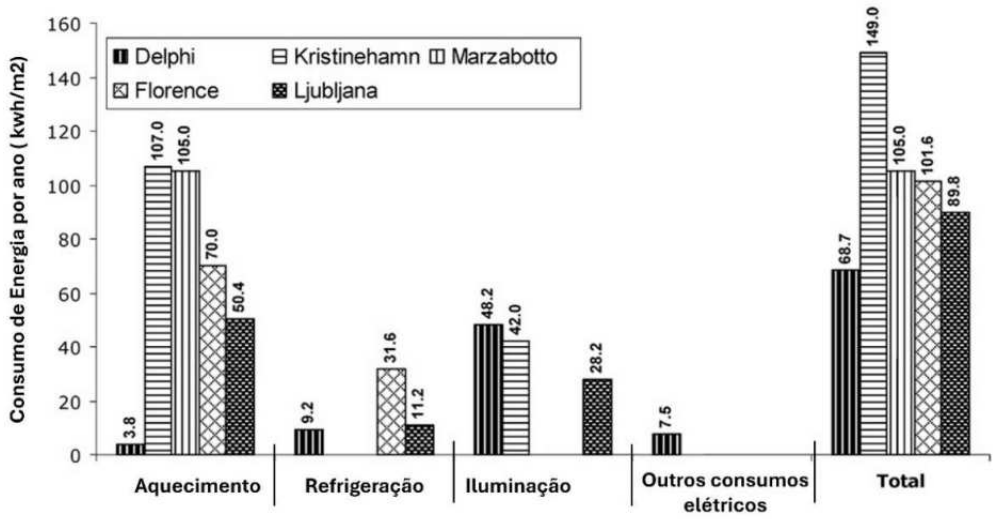


Fonte: Kramer et al., 2017, p. 692 - tradução livre da autora

Já a pesquisa conduzida pelo laboratório de meteorologia do Departamento de Física da Universidade de Atenas (estudo 2) propõe quatro estratégias principais para a redução do consumo energético nos museus estudados: a melhoria do microclima, a transformação da envoltória dos edifícios, a implementação de sistemas energéticos eficientes e a aplicação de sistemas de automação predial. O objetivo foi estabelecer uma comparação entre as simulações realizadas com a ferramenta TRNSYS (TRNSYS 2002) e a efetividade das medições realizadas in loco.

A Figura 4 demostra que o consumo final de energia para aquecimento (incluindo ventilação), arrefecimento, iluminação e outros consumos elétricos foi estimado para avaliar a eficiência das medidas propostas para cada museu. A comparação entre os cenários de referências e simulados finais mostra que as economias potenciais de consumo de energia de aquecimento e arrefecimento podem ser significativas (até 62% para aquecimento e 93% para arrefecimento).

Figura 4 - Consumo de energia de museus europeus estudados



Fonte: ZANNIS, SANTAMOURIS *et al.* (2006). Tradução livre da autora

Resultados e Discussão

Apesar de possuírem objetivos distintos, cada estudo de caso traçou uma estratégia para o gerenciamento climático interno, apresentando resultados positivos na redução do consumo energético. Ambos os estudos destacaram as propriedades físicas dos edifícios analisados e o ambiente em que estão inseridos como fatores determinantes para as condições climáticas internas e, consequentemente, para as demandas energéticas dos sistemas de HVAC (principalmente os de aquecimento) necessários ao cumprimento dos critérios estabelecidos. O monitoramento contínuo dos edifícios, ao longo de um ano, foi essencial, pois abrangeu todas as estações e suas variações sazonais, permitindo a comparação entre as medições internas e externas, inclusive nas transições mais abruptas entre o verão e o inverno.

Conforme descrito na Tabela 03, os estudos demonstram que a análise climática interna — com base na capacidade de desempenho dos sistemas HVAC ou nas propriedades do edifício em manter estáveis os critérios estabelecidos na maior parte do tempo — pode trazer benefícios

tanto em termos de conforto térmico para os visitantes quanto de melhor conservação das obras, garantindo resultados mais estáveis e duradouros.

Tabela 3 - Descrição dos resultados

Estudos	Principal Estratégia	Parâmetros Iniciais	Parâmetros Finais	Resultados Encontrados
1	O estudo analisa a implementação de limites de temperatura adaptativos para aumentar a eficiência energética e o conforto térmico dos visitantes.	Ambiente interno: T 21°C, UR 50%, sem variação sazonal.	Pontos de ajuste de temperatura alterados para 19,5 °C (mín) a 24 °C (máx.), com umidade relativa em 50% e variações sazonais para inverno e verão.	Ajustar a temperatura de 21 °C conforme a estação melhora o conforto e proporciona uma economia de até 49% no consumo de energia.
2	Os estudos energéticos auxiliaram na escolha de opções de projeto e retrofit que reduzem o consumo de energia dos edifícios, respeitando o meio ambiente e o conforto térmico.	Consumo energético: 302 kWh/m³/ano no Museu de Delfos e 245 kWh/m²/ano em Kristinehamn.	Consumo energético: 69 kWh/m³/ano no Museu de Delfos e 149 kWh/m²/ano em Kristinehamn.	As estratégias de retrofit adotadas mostraram-se eficazes, resultando em economia de energia entre 39% e 77%.

Fonte: autoria própria

Conclusão

O gerenciamento climático em museus é um campo de estudo complexo e abrangente, que exige monitoramento constante e análise de dados. No entanto, quando se trata de museus localizados no Brasil, os desafios são maiores. É necessário considerar individualmente cada edifício de museu e suas coleções para a validar a aplicabilidade das estratégias adotadas em museus europeus, especialmente no que diz respeito à eficiência energética. A reclassificação das categorias de acervo ou das coleções expostas também se mostra essencial, uma vez que muitos requisitos de controle ambiental são baseados em traduções livres de critérios estabelecidos para as classes mais restritivas de risco. O método proposto para o controle climático em museus situados em clima subtropical deve seguir os seguintes passos:

1. **Propor uma nova classificação de risco para as obras de arte expostas:** para este passo, recomenda-se a adoção da classificação ASHRAE Classe A para a maior parte do acervo, por exemplo, utilizando a flexibilidade proposta. Os parâmetros de umidade relativa podem admitir variações de até 10%, para mais ou para menos, o que permite uma maior estabilidade dos sistemas por períodos mais longos. É necessária também a revisão dos intervalos de tempo em que a variação é permitida, respeitando períodos mínimos de 24 horas com monitoramento constante, uma vez que as alterações externas são recorrentes.

2. **Avaliação de desempenho dos edifícios e seu envelope**, com relação à capacidade de manter o clima interno independentemente da variação climática externa ou da utilização de sistemas de condicionamento de ar. Já os parâmetros internos de umidade relativa são os mais complexos de serem controlados, uma vez que são suscetíveis a diversos fatores, como a época de chuvas intensas e o uso (ou não) de sistemas de controle do HVAC automatizados, o que implica em consumos energéticos maiores para que os equipamentos permaneçam ligados por períodos mais longos. È necessário estudar a capacidade higrotérmica do edifício e seu envelope para manter as temperaturas, além de cruzar dados com a quantidade e permanência dos visitantes, a fim de aferir dados de conforto.

3. **Estabelecer objetivos reais de redução de consumo energético:** por meio de alterações na operação e funcionamento dos sistemas de HVAC, nos sistemas de controle de iluminação e com base nos dados coletados sobre a climatização eficiente voltada ao conforto humano. Neste ponto, deverão ser traçadas métricas concretas de redução de consumo, pois, ao contrário dos museus europeus, os museus brasileiros utilizam grande quantidade de energia para o controle da temperatura interna, já que os parâmetros adotados para conservação das obras são baixos em relação às temperaturas externas na maior parte do ano. As medições de consumo energético também são necessárias, estabelecendo correlações com as estações do ano, como os períodos de verão e inverno.

As estratégias para a redução do consumo energético podem ser implantadas em museus brasileiros por meio de sistemas de automação predial, onde simulações podem ser realizadas

para verificar a eficácia dos controles e os ajustes permitidos, de acordo com a tolerância dos limites mínimos e máximos adotados. O fator decisivo para a tomada de decisões no gerenciamento climático deverá ser baseado na coleta constante de dados, na avaliação de risco das coleções expostas e no conforto dos visitantes. As reduções no consumo energético serão uma consequência do cruzamento desses fatores, além da avaliação de desempenho dos sistemas prediais e de HVAC.

REFERÊNCIAS:

Ankersmit, Bart; Stappers, Marc. **Managing indoor climate risks in museums**. Amsterdã: Culture Heritage Science. Springer International Publishing, 2017.

_ASHRAE. Handbook – **Chapter 24: Museums, Galleries, Archives, and Libraries**, 2019. Atlanta, EUA, 47 páginas

Kramer, Rick; Schellen, Henk, Schijndel, Jos van. "Energy impact of ASHRAE's museum climate classes: a simulation study on four museums with different quality of envelopes". **Energy Procedia**, Torino, 6th International Building Physics Conference IBPC, 2015, p. 1317-1322.

Kramer, Rick, Schellen, Lisje; Schellen,Henk. "Adaptive temperature limits for air-conditioned museums in temperate climates". **Building Research & Information,** Londres, Taylor & Francis Group. V. 46, n. 6, Junho,2017, p. 686-697.

Michalski, Stefan. "Climate guidelines for heritage collections: where we are in 2014 and how we got here". **Canadian Conservation Institute,** *Summit on Museum Preservation Environment*., Setembro, 2016, p. 7-32.

Pretzel, Boris. "The climate toolbox—A Microsoft® Excel® based tool for assessing and comparing the effects of internal climates on museum artefacts". **Heritage**, Londres, Abril, 2023, p. 3745–3756.

Zannis, G.; Santamouris, M.;Geros, V.; Karatasou S.;Pavlou, K.; Assimakopoulos,N. "Energy efficiency in retrofitted and new museum buildings in Europe". **International Journal of Sustainable Energy**, Atenas, Taylor & Francis Group. V. 25, 3-4; Novembro,2010, p. 199-213