DESEMPENHO DE FACHADAS ADAPTATIVAS NO CONFORTO TÉRMICO: Estudo de Caso do Museu do Meio Ambiente em Niterói-RJ[1]

RAMOS, Rafael Maia (1); CAETANO, Diego Souza (2); REIS, Elisabete Rodrigues dos (3); BRASIL, Paula de Castro (4)

(1) Centro Universitário La Salle, Rio de Janeiro, rafaelm.ramos@soulasalle.com.br

(2) Centro Universitário La Salle Rio de Janeiro, diego.caetano@lasalle.org.br

(3) Centro Universitário La Salle, Rio de Janeiro, prof.elisabete.reis@soulasalle.com.br

(4) Centro Universitário La Salle, Rio de Janeiro, prof.paula.brasil@soulasalle.com.br

RESUMO

O artigo investiga, por meio de simulações, a aplicação de fachadas adaptativas como estratégia para otimizar o conforto térmico e a eficiência energética em edificações situadas em climas tropicais úmidos. A pesquisa tem como base um equipamento cultural, o projeto do Museu do Meio Ambiente, localizado em Charitas, Niterói-RJ, cuja proposta arquitetônica integra princípios bioclimáticos e sistemas de sombreamento dinâmicos. A metodologia envolve análises climáticas com o diagrama de Givoni e Rosa dos Ventos, além da simulação de três cenários de desempenho da fachada: com brises fechados, abertos e ausentes. Os resultados demonstraram que a envoltória, composta por brises móveis regulados por sensores solares, proporciona maior controle da radiação incidente no ano, equilibrando sombreamento, ventilação e iluminação. Conclui-se que esse tipo de solução é eficiente e sensível às condições climáticas, promovendo ambientes mais integrados ao contexto climático.

Palavras-chave: Fachadas adaptativas; conforto térmico; eficiência energética.

ABSTRACT

This article uses simulations to investigate the application of adaptive façades as a strategy to optimize thermal comfort and energy efficiency in buildings located in humid tropical climates. The research is based on a cultural facility, the Environmental Museum project, located in Charitas, Niterói-RJ, whose architectural proposal integrates bioclimatic principles and dynamic shading systems. The methodology involves climate analysis using the Givoni and Wind Rose diagrams, in addition to the simulation of three façade performance scenarios: with closed, open and absent sunshades. The results demonstrated that the envelope, composed of mobile sunshades regulated by solar sensors, provides greater control of incident radiation throughout the year, balancing shading, ventilation and lighting. It is concluded that this type of solution is efficient and sensitive to climate conditions, promoting environments that are

[1] RAMOS, Rafael Maia; CAETANO, Diego Souza; REIS, Elisabete Rodrigues dos; BRASIL, Paula de Castro (4). DESEMPENHO DE FACHADAS ADAPTATIVAS NO CONFORTO TÉRMICO: Estudo de Caso do Museu do Meio Ambiente em Niterói-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. Anais... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-9. DOI 10.46421/sbqp.v9i.7881

more integrated with the climate context.

Keywords: *Ad*aptive facades; thermal comfort; energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A prática arquitetônica contemporânea encontra-se diante de uma crise estrutural que transcende os aspectos formais e funcionais dos projetos. A arquitetura vive um impasse de identidade com os paradigmas modernistas, que já não respondem adequadamente às demandas ambientais do século XXI. A noção de progresso técnico ilimitado dos tempos passados sustentava-se na ideia de uma natureza inesgotável, e na racionalização da forma arquitetônica em função do crescimento urbano. No entanto, o esgotamento de recursos naturais, e os impactos das mudanças climáticas impõem novas exigências projetuais (HICKEL, 2005).

Diante disso, pretende-se evidenciar, por meio do projeto arquitetônico de um equipamento cultural, e da simulação computacional, a importância da fachada adaptativa para a eficiência da proteção solar. Assim, objetiva-se analisar o local de implantação, projetar um museu, e a envoltória, averiguar seu benefício, e a sua falta, para o conforto térmico. A avaliação da eficiência do envelope projetado pautar-se-á na análise do ângulo beta de proteção dos brises. Os resultados da discussão incluem a simulação da eficácia da proteção solar de uma fachada adaptativa em duas situações distintas, bem como a análise das manchas solares sem a presença dos brises adaptativos.

O crescente impacto ambiental da construção civil, especialmente pelo consumo energético da climatização artificial, tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas inteligentes de envoltória. Nesse contexto, as fachadas adaptativas são soluções que ajustam suas propriedades em resposta às mudanças climáticas, otimizando o desempenho termoenergético e o conforto ambiental (Attia *et al*, 2015). Esses sistemas diferenciam-se das envoltórias convencionais por integrarem mecanismos dinâmicos — materiais responsivos, dispositivos móveis e sensores — que permitem à envoltória desempenhar funções como controle de sombreamento, ventilação, transmitância térmica e iluminação natural (Voigt *et al*, 2022).

As fachadas adaptativas podem operar com ajustes em tempo real, regulando condições de minuto a minuto, ou com adaptações sazonais, com intervenções ao longo do ano, que tem se mostrado eficiente em climas com alta variação térmica anual. Estudos de simulação computacional demonstram que a simples adaptação de elementos de fachada uma vez por estação pode reduzir a necessidade de condicionamento artificial (Arantes, 2019).

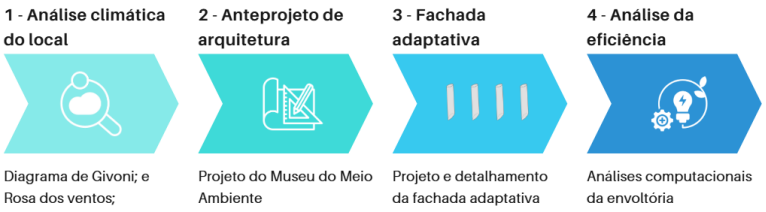
Apesar de seu potencial, a adoção do sistema possui desafios técnicos. A complexidade de integração com outras disciplinas, a ausência de protocolos padrões de avaliação de desempenho e a resistência dos profissionais são algumas barreiras. Além disso, a definição de parâmetros de projeto — como o tempo de resposta e função adaptativa — exige coordenação multidisciplinar, que costuma não acontecer (Attia *et al*, 2015; Voigt *et al*, 2022). Ainda assim, os novos métodos de avaliação e das tecnologias, apontam a consolidação do sistema.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para avaliar a eficiência da fachada adaptativa quanto ao bloqueio solar, foi

realizada uma análise das necessidades climáticas do local, por meio do diagrama de Givoni (BOGO *et al,* 1994), e da Rosa dos Ventos, de forma a entender o ambiente para projetar corretamente. Posteriormente, foi realizado o anteprojeto de um Museu, pré-dimensionando os setores, em seguida, considerando o clima, realizou-se a modelagem da fachada adaptativa, na última etapa, as simulações da proteção térmica da envoltória determinaram a eficiência dos brises, medidas pela carta solar e pelo transferidor de ângulos solares, métodos descritos em BITTENCOURT (2004).

Figura 1 – Fluxograma das etapas de pesquisa

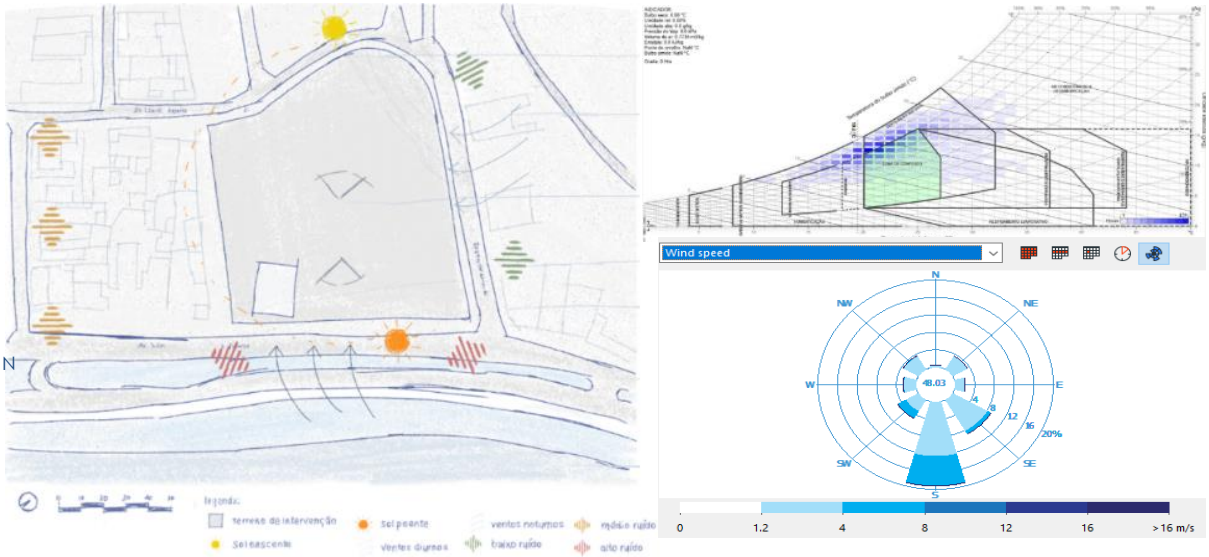


Fonte: Autor, 2025

3 O LUGAR E O MUSEU DO MEIO AMBIENTE

O lote, situado na Avenida Prefeito Silvio Picanço–Charitas, Niterói-RJ, tem uma área de 11.288,88 m². À frente, está a Baia de Guanabara, e aos fundos, o Parque da Cidade, área de proteção ambiental. Atualmente, além do Casarão, - tombado pelo IPHAN -, o terreno tem um edifício que desconsidera o conforto térmico. Situado em uma região litorânea, o local é exposto aos ventos, sem barreiras significativas. A Rosa dos Ventos indica predominância de ventos do Sul, e noroeste (Figura 2). O clima de Niterói, tropical úmido, possui altas temperaturas, variando de 20°C a 25°C (LEITE, et al 2020). O diagrama de Givoni (Figura 2) indica que as condições climáticas estão próximas da zona de conforto, e da ventilação natural.

Figura 2 – Mapa do diagnóstico climático, Rosa dos Ventos e Diagrama de Givoni



Fonte: Autor, 2024

Diante disso, o Museu do Meio Ambiente (MuMA) foi concebido com princípios de sustentabilidade e integração com o entorno. Seu conceito, eco-esfera, representa a tendencia tipológica do Museu como organismo vivo, de MONTANER (2003), em que o equipamento de cultura se molda ao ambiente, relacionando a arquitetura com a natureza. Para assegurar o conforto térmico, o Muma organiza-se em torno de um pátio circular central, que favorece a ventilação para o interior, ao direcionar as aberturas e subtrações do volume para os ventos predominantes (Figura 3). A proteção contra a incidência solar ocorre pela cobertura destacada da última laje, que se estende além das vedações externas. Essas estratégias, unidas a fachada adaptativa, objetivam garantir o conforto térmico, a Figura 3, demonstra as estratégias utilizadas. O projeto ainda busca responder ao clima local, e convidar o visitante a experimentar o espaço, possuindo exposições gratuitas e áreas educacionais. A relação com a paisagem, e a busca por um microclima equilibrado demonstram compromisso com o meio ambiente e com o bem-estar dos usuários.

Figura 3 – Esquema gráfico do térreo, corte perspectivado e ambiências

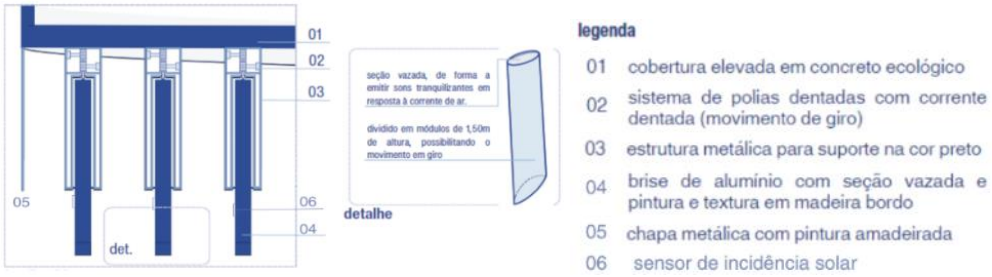


Fonte: Autor, 2024

4 A FACHADA ADAPTATIVA

As fachadas do edifício são compostas por um sistema adaptativo de brises móveis desenvolvidos com elementos circulares vazados em alumínio, e dispostos em módulos de até 1,50m de altura, com distanciamento de até 100cm entre si. Tais movimentações são viabilizadas por polias dentadas e correntes contínuas, que permitem os brises se aproximarem ou se afastarem.

Figura 4 – Detalhamento esquemático dos brise



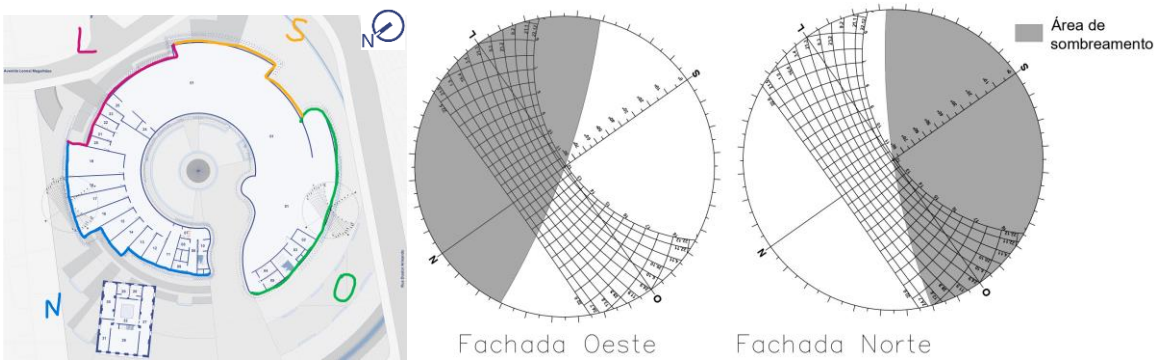
Fonte: Autor, 2024

A fachada atua como sistema de sombreamento responsivo, regulado por sensores de incidência solar, permitindo respostas dinâmicas às variações de insolação. Quando há alta incidência, os brises se aproximam, mantendo um espaçamento de 5cm. Quando há menos insolação, eles se afastam até 100cm, permitindo a entrada de luz natural e valorizando a vista. A fachada introduz movimento e variabilidade ao edifício, atribuindo-lhe um caráter vivo e sensível às mudanças, reforçando a noção de uma arquitetura responsiva e integrada ao seu contexto climático e social.

5 RESULTADOS: SIMULAÇÃO DAS FACHADAS

O primeiro passo para as análises, é a averiguação do posicionamento do projeto em relação ao Norte. O museu possui o Norte inclinado a aproximadamente 109° (Figura 5). Sendo assim, a carta na fachada também ficará nessa direção, conforme instruções de BITTENCOURT (2004). A Figura 5 mostra a planta baixa do primeiro pavimento com a carta posicionada na fachada Oeste e Norte. Observa-se que o sol incide, a oeste, aproximadamente das 12 às 18h, enquanto a norte, de 6 a aproximadamente 11h, após esse horário, a radiação depende da época do ano.

Figura 5 – Indicação do Norte e posicionamento da carta solar nas fachadas Oeste e Norte



Fonte: Autor, 2025

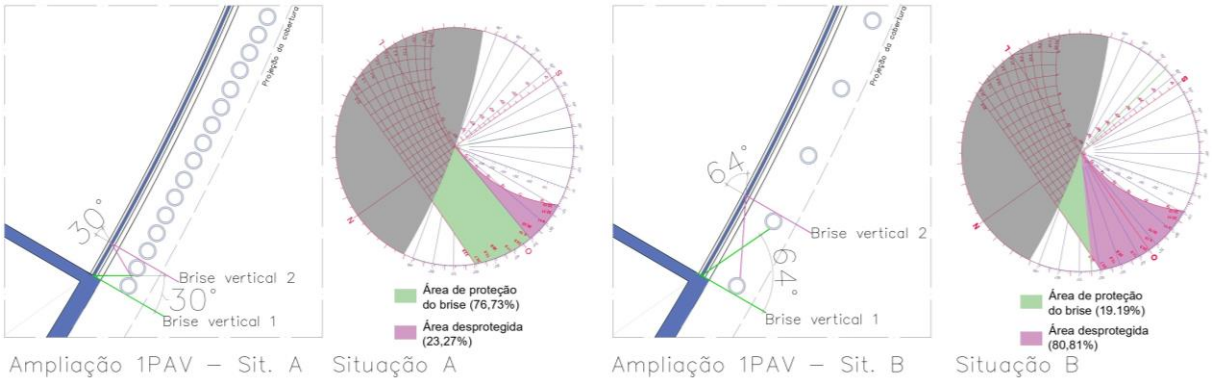
A análise será dividida em três situações, nas quais a fachada Oeste será simulada, uma vez que recebe mais insolação. Na situação *A*, os brises estarão em seu fechamento máximo, com 5cm de distanciamento, na *B*, estarão na abertura máxima, com 100cm de afastamento, enquanto a *C*, a fachada estará sem os brises, considerando apenas a projeção da cobertura. A comparação das 3 situações, evidenciará a necessidade de uma envoltória que se adapta à incidência solar.

6.1 Situação *A* e *B*

A fachada Oeste será analisada considerando o percurso solar, o ângulo horizontal de sombreamento (β), o espaçamento entre os brises e o desempenho ao longo do ano. Na Situação *A*, os brises resultaram em um ângulo β de 30°, protegendo 76,73% da fachada, sombreando entre 12h e 18h na maior parte do ano, recebendo insolação apenas nos últimos meses do ano (Figura 6). Já na Situação *B*, o ângulo β de 64° (Figura 6) comprometeu a eficiência, protegendo apenas 19,19% da envoltória. A carta solar indica que nos meses de novembro e dezembro, a insolação não é protegida, enquanto os meses de outubro a junho, a proteção ocorre de forma

gradativa, aumentando aproximadamente uma hora por mês – iniciando de 12 a 13h em outubro, e estendendo progressivamente até cerca de 16:30 em junho.

Figura 6 – Análise da situação A e B na fachada Oeste



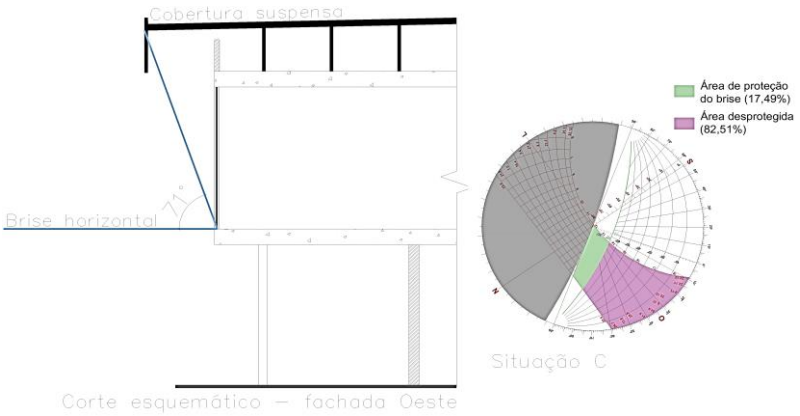
Fonte: Autor, 2025

Dessa forma, observa-se que o grande afastamento entre os brises deve ser adotada para os períodos de menor insolação. Na maior parte do ano, durante a tarde, a fachada se mantém com os brises mais próximos. Essa flexibilidade evidencia a importância do sistema: se os brises fossem fixos em 5cm, haveria perda de ventilação e luz natural. Por outro lado, se estivessem fixos em 100cm, o ganho de ventilação ampliaria a exposição solar. Portanto, a adoção da fachada adaptativa equilibra as a iluminação e ventilação natural ao longo do ano, ajustando a edificação.

6.2 Situação C

Para avaliar os benefícios da fachada adaptativa, foi realizada uma análise da envoltória sem a presença dos brises. Considerou-se como única forma de proteção solar a projeção da cobertura, com 2 metros de avanço da alvenaria externa. Resultou-se um ângulo de sombreamento vertical (a) de 71°. Essa solução oferece apenas 17,49% de proteção ao longo do ano (Figura 7). O sombreamento ocorre entre as 12 e 13:30h, o que é insuficiente como estratégia isolada de conforto térmico.

Figura 7 – Corte esquemático fachada Oeste e análise da projeção da cobertura

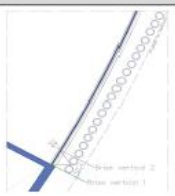
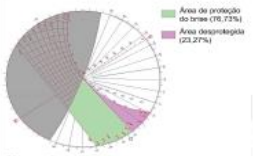
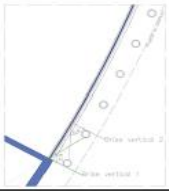
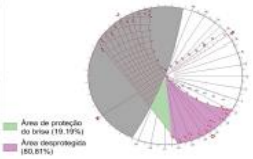
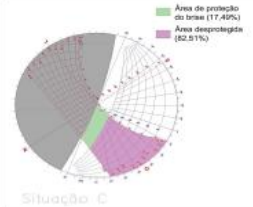


Fonte: Autor, 2025

6.1 Síntese dos Resultados

Para análise do desempenho da fachada adaptativa composta por brises móveis verticais em três diferentes configurações, com foco na fachada Oeste do edifício, considerando as simulações realizadas, foi desenvolvida uma tabela síntese abaixo. A partir desta, observou-se que o fechamento máximo dos brises (Situação A), com afastamento de 5 cm entre os elementos, proporcionou um ângulo de sombreamento de 30° e garantiu 76,73% de proteção contra a radiação solar. Já na Situação B, com afastamento máximo de 100 cm, o ângulo aumentou para 64°, mas a proteção caiu drasticamente para 19,19%. Por fim, a Situação C, que considerou apenas a projeção da cobertura como elemento de sombreamento (sem brises), apresentou um ângulo de 71° e uma proteção ainda menor, de apenas 17,49%. Esses dados evidenciam que a fachada adaptativa é essencial para equilibrar sombreamento, ventilação e iluminação natural, respondendo de forma eficaz às variações sazonais da insolação.

Tabela 1 – Tabela síntese das soluções comparadas

Situção	Descrição da situação	Tipo de Brise	Desenho técnico	Análise do Brise	Ângulo de proteção	Percentual de proteção do brise segundo Carta Solar
A	Brises com afastamento de 5cm entre os elementos verticais.	Brise Vertical da fachada adaptativa, analisado na fachada Oeste.			30°	76,73%
B	Brises com afastamento de 100cm entre os elementos verticais.	Brise Vertical da fachada adaptativa, analisado na fachada Oeste.			64°	19,19%
C	Fachada sem brises adaptativos, apenas com a proteção horizontal da projeção da cobertura,com 2m de avanço em relação as alverias externas.	Brise Horizontal, analisado na facghada Oeste.			71°	17,49%

Fonte: Autor, 2025

6 CONCLUSÕES

A pesquisa evidenciou a relevância do uso de fachadas adaptativas como estratégia arquitetônica essencial para o conforto ambiental e a eficiência energética em edifícios localizados em climas de forte incidência solar. A partir da análise de diferentes configurações de sombreamento aplicadas à fachada Oeste, verificou-se que sistemas fixos são limitados por sua rigidez - seja comprometendo a ventilação, ou iluminação natural.

Os resultados obtidos demonstraram que a variação no distanciamento dos brises altera significativamente o desempenho térmico da fachada ao longo do ano. O sistema adaptativo, ao permitir a adaptação da fachada conforme as condições climáticas, mostrou-se eficaz, oferecendo equilíbrio entre sombreamento, ventilação e entrada de luz natural. Essa flexibilidade reforça o papel da arquitetura como mediador ativo entre o ambiente construído e os fenômenos naturais. Além disso, a pesquisa dialoga com os princípios de arquitetura responsiva ao clima, e contribui ao propor uma aplicação prática que integra conforto ambiental, desempenho técnico e potencial estético. Assim, o ponto focal deste trabalho está em demonstrar que a fachada adaptativa é um elemento de projeto capaz de responder com sensibilidade às variações do clima, promovendo ambientes mais sustentáveis, saudáveis e eficientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da instituição Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

ARANTES, Beatriz. **Fachadas sazonalmente adaptáveis: potencial de melhoria de desempenho termo-energético de edifícios residenciais.** 101f. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, São Paulo, 2019.

ATTIA, Shady et al. **Adaptive Facades System Assessment: An initial review.** In: 10TH CONFERENCE ON ADVANCED BUILDING SKINS, 2015, Berna. ECONOMIC FORUM Germany, 2015. p. 1275-1283.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares: Diretrizes para arquitetos.** Maceió: EDUFAL, 2004.

BOGO, Amilcar *et al*. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico.** Relatório interno nº 02/94. Florianópolis: UFSC, 1994.

HICKEL, Denis Kern**. A (in) sustentabilidade na arquitetura.** Arquitextos, São Paulo, ano 06, n. 064.06, set. 2005. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.064/426. Acesso em: 04 maio 2025.

LEITE, Ellen Flávia Weis *et al*. **Analise estatística de dados climáticos das cidades de Joinville/SC e Niterói/RJ.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, p. 207-223, fev. 2020.

MONTANER, Josep Maria. **Museus para o século XXI.** 1. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L., 2003. 160 p.

VOIGT, Michael P.; ROTH, Daniel; KREIMEYER, Matthias. **Main Characteristics of Adaptive Façades.** Proceedings of the Design Society, v. 2, p.2543-2552, 2022.