ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Bioclimatologia e projeto: estratégias aplicadas em um estudo de caso

Bioclimatology and design: strategies applied in a case study

Júlia Bagio
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ju.bagio07@gmail.com
Ramon Silva de Carvalho
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ramon.carvalho@ufsc.br
Renata De Vecchi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | redevecchi@gmail.com

Resumo

É frequente nos cursos de arquitetura e urbanismo a discussão relacionada às dificuldades que os estudantes encontram ao aplicar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de conforto ambiental e de eficiência energética nos projetos desenvolvidos em ateliê e, posteriormente, na vida profissional. Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo abordar e discutir os principais aspectos que contribuem para a incorporação de estratégias de conforto e bioclimatologia em um projeto arquitetônico, tanto na definição de seu partido como nas demais fases de desenvolvimento. Para tanto, toma-se como estudo de caso a proposta para um centro cultural, dividindo-se o método adotado em três etapas: (1) desenvolvimento do partido do projeto arquitetônico; (2) simulação computacional da edificação proposta, baseando-se no método da INI-C do PBE Edifica; e, (3) análise dos resultados e reavaliação do projeto arquitetônico. Conclui-se destacando a relação entre as intenções projetuais iniciais – o partido – e as necessárias adequações realizadas após a simulação computacional, em especial no que diz respeito aos elementos formais e de envoltória.

Palavras-chave: Projeto arquitetônico. Simulação. Estratégias bioclimáticas. Eficiência energética. Desempenho termo energético.

Abstract

Architecture and urban planning courses have often discussed the difficulties that students encounter when applying the knowledge acquired in environmental comfort and energy efficiency courses into projects developed in design studios and later in their professional lives. In this context, this research aims to address and discuss the main aspects that contribute to the incorporation of comfort and bioclimatology strategies in an architectural design, both in the definition of its design approach and other phases of development. For this purpose, the proposal for a cultural center was defined as a case study and the work is divided into three stages: (1) development of the architectural proposal; (2) computer simulation of the building based on the INI-C method from PBE Edifica; and (3) analysis of the results and re-evaluation of

Como citar:
BAGIO, J.; DE CARVALHO, R. S.; DE VECCHI, R. Bioclimatologia e projeto: estratégias aplicadas em um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

the architectural design. It concludes by highlighting the relationship between the design intentions - the conceptual design approach - and the adjustments made after the computer simulation, especially concerning the formal and envelope/closure elements.

Keywords: Architectural design. Simulation. Bioclimatic strategies. Energy efficiency. Thermal energy performance.

INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE [1], a construção civil é o ramo industrial que mais emprega no país e é responsável por uma grande parcela do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Em contrapartida, segundo Barreto [2], este mercado também é responsável por severos impactos ambientais gerados por todas as etapas do processo – desde a extração da matéria prima até a execução da obra e a sua ocupação.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira [3] a partir do século XX, e especialmente com o grande crescimento urbano dos anos 1980 e com a crise de petróleo de 1973, os profissionais da construção civil passaram a utilizar sistemas de climatização e iluminação artificial em excesso, gerando uma ‘’hemorragia energética (e econômica)’’ [3, p. 15]. O objetivo, ainda segundo estes autores, é o de proporcionar maior conforto ambiental para os ocupantes das edificações projetadas. Neste contexto, em vista dos ainda crescentes índices de consumo energético pelas edificações em todo o mundo segundo o ‘’*Global Status Report for Buildings and Constructions*”[4], desde 2020 os investimentos mundiais em eficiência energética cresceram aproximadamente 16%. Assim, é possível observar o aumento da busca por espaços, instituições e/ou cidades que estimulem o desenvolvimento de uma cultura mais sustentável e eficiente em energia, no que diz respeito à construção civil.

Atentas a este cenário, grande parte das faculdades de arquitetura e urbanismo passaram a oferecer disciplinas voltadas ao estudo do conforto ambiental e da eficiência energética em edificações. Porém, observa-se a falta de integração entre os núcleos de disciplinas de tecnologias (em que se enquadram essas temáticas), onde o conteúdo é abordado de forma mais teórica, e os ateliês de projeto, que são disciplinas mais práticas. Por este motivo, é frequente a discussão relacionada à dificuldade dos estudantes em aplicar esses conceitos em seus projetos na faculdade e, posteriormente, na vida profissional [5].

Neste sentido, a partir de um estudo de caso – um centro cultural em Florianópolis, Santa Catarina, desenvolvido por uma das coautoras deste trabalho para o Trabalho de Conclusão de Curso –, este artigo tem como objetivo abordar e discutir os principais aspectos que contribuíram para a incorporação das estratégias de conforto e bioclimatologia neste projeto arquitetônico, em especial na definição do partido e no desenvolvimento do Estudo Preliminar.

MÉTODO

Para atingir o objetivo estabelecido, este trabalho foi dividido em três etapas: (1) desenvolvimento do partido do projeto arquitetônico; (2) simulação computacional da edificação proposta, baseando-se no método da INI-C do PBE Edifica; e (3) análise dos resultados e reavaliação do projeto arquitetônico.

DESENVOLVIMENTO DO PARTIDO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

Lamberts, Dutra e Pereira [3] defendem que, antes de iniciar um projeto arquitetônico bioclimático deve-se, primeiro, realizar um estudo do clima local, para só então definir as estratégias de projeto que atendam tanto às demandas de eficiência energética quanto às de conforto dos usuários. Portanto, inicialmente apresenta-se a avaliação do clima da cidade de Florianópolis.

Os dados do arquivo climático INMET 2018 (Figura 1) demonstram que o período do verão (dezembro a março) é caracterizado por valores de temperatura média de 24°C, máxima superior a 28°C e mínima por volta de 21°C. O período mais frio do ano (junho a setembro), por sua vez, tem temperatura média de 17°C, máxima média inferior a 22°C e mínima média inferior a 15°C.

A Figura 1 mostra, também, em verde, que durante a maior parte do ano a umidade relativa em Florianópolis está acima de 70%.

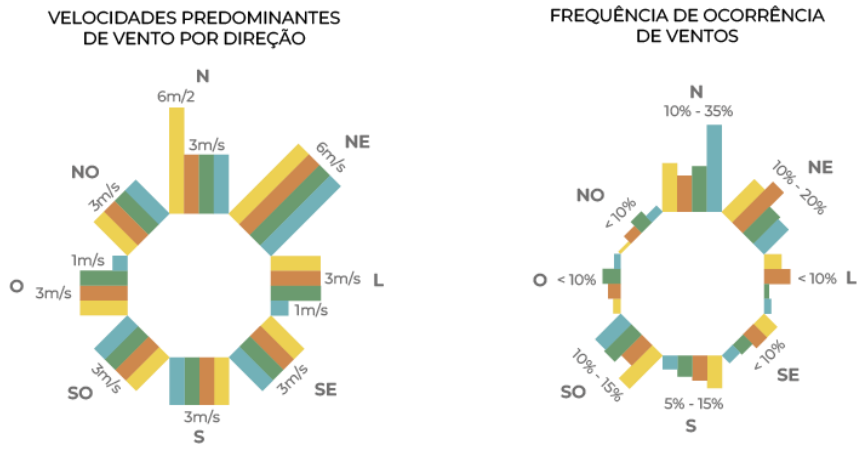
Figura 1: Variação anual da temperatura de bulbo seco e umidade relativa em Florianópolis



Nota: temperatura de bulbo seco em azul e umidade relativa em verde. Fonte: arquivo climático INMET 2018.

A rosa dos ventos ilustrada na Figura 2 mostra que os ventos predominantes em Florianópolis são aqueles provenientes do Norte e do Nordeste, sendo esta última orientação a de valores mais intensos, e também a que orientou a disposição das aberturas para ventilação cruzada no projeto.

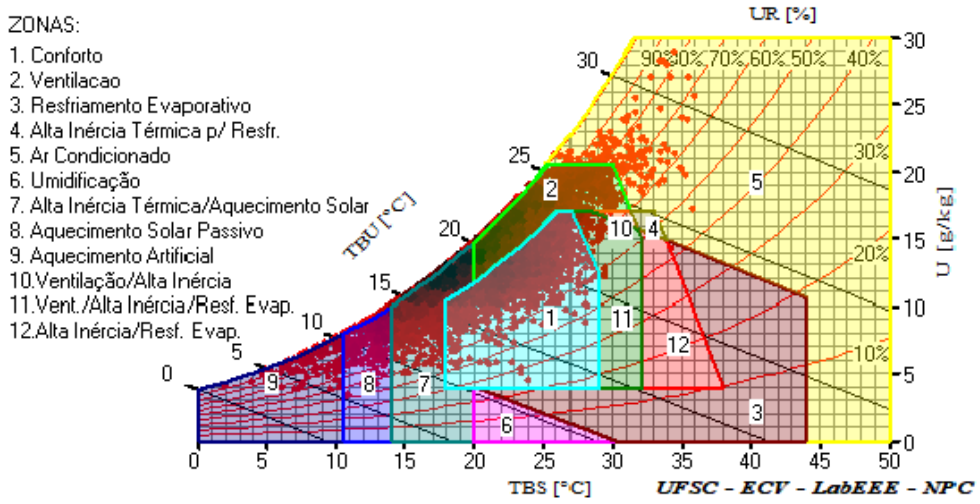
Figura 2: Velocidades e frequência de ocorrência dos ventos em Florianópolis



Fonte: adaptado de dados climáticos do software Sol-AR.

A partir da avaliação do clima de Florianópolis, utilizou-se a carta bioclimática de Givoni (Figura 3) com os dados do arquivo climático TRY para definir as principais estratégias bioclimáticas que poderiam contribuir para o melhor desempenho energético do referido centro cultural. Na sequência, a Tabela 1 apresenta os percentuais das estratégias bioclimáticas indicadas na Figura 3. Assim, em um primeiro momento, pontua-se a necessidade de abordar duas distintas estratégias principais: ventilação natural, para os dias mais quentes; e massa térmica e aquecimento solar, para os períodos frios.

Figura 3: Carta bioclimática de Givoni para Florianópolis



Fonte: arquivo climático INMET 2018.

Tabela 1: Percentuais das estratégias bioclimáticas indicadas na carta bioclimática de Givoni

Conforto				21%
Desconforto				79%
Calor	Ventilação	35,5%	38%	
	Resfriamento evaporativo	0		
	Inércia térmica para resfriamento	0		
	Ar condicionado	1,7%		
	Umidificação	0		
	Ventilação e inércia para resfriamento	0		
	Ventilação, inércia para resfriamento e resfriamento evaporativo	0,9%		
	Inércia para resfriamento e resfriamento evaporativo	0		
Frio	Aquecimento solar com inércia térmica	35,4%	41%	
	Aquecimento solar com isolamento térmico	3,8%		
	Aquecimento artificial	1,5%		

Fonte: arquivo climático INMET 2018.

É importante destacar, também, que o perfil de ocupação da edificação foi considerado e, portanto, foram priorizadas estratégias que buscassem garantir o melhor desempenho do edifício, principalmente durante o dia. Ressalta-se, ainda, que essas estratégias foram reavaliadas após a etapa de simulação computacional.

A localização escolhida para o projeto do centro cultural foi o Sapiens Parque, situado na porção Norte da parte insular de Florianópolis. Trata-se de um parque ainda em de implantação, com infraestrutura desenvolvida especialmente para abrigar centros de pesquisa e empresas, públicas ou privadas, e outros empreendimentos que visam o desenvolvimento tecnológico da região [7]. O terreno (destacado em amarelo na Figura 4), por sua vez, possui 9.113,94 m^2 e apresenta uma topografia predominantemente plana [8].

Considerando que a escolha do terreno também compreende uma importante etapa do desenvolvimento de um projeto bioclimático, destaca-se, na ambiência deste projeto, a sua localização próxima a um lago e a uma série de áreas verdes que garantem, além da manutenção do microclima do entorno imediato, que as demais edificações do parque não tenham efeito de sombreamento sobre o terreno escolhido. Esta vegetação, porém, também não sombreia a edificação objeto deste trabalho.

Figura 4: Mapa do Sapiens Parque



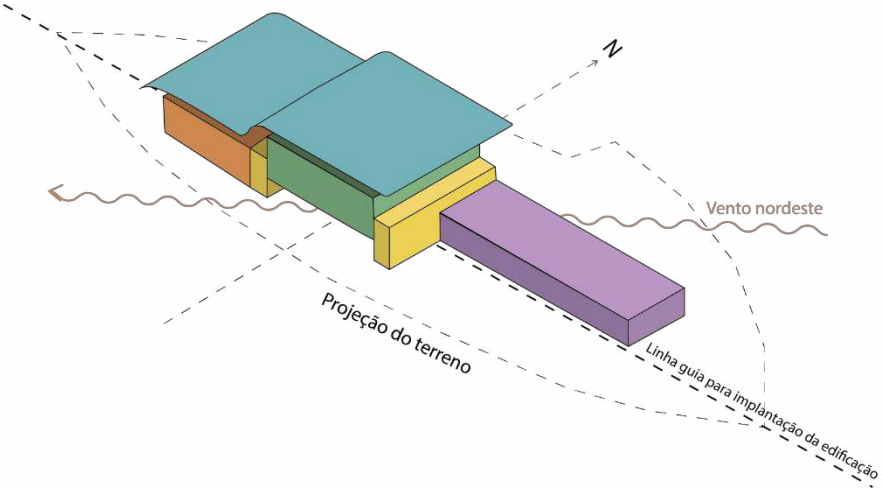
Fonte: os autores, adaptado de Google Maps.

O partido arquitetônico foi então desenvolvido a partir das estratégias bioclimáticas definidas inicialmente a partir da análise do clima, em conjunto com o programa de necessidades do centro cultural. Portanto, a envoltória (lajes, coberturas, paredes e esquadrias) foi o objeto principal das estratégias de eficiência energética adotadas.

O partido surgiu, então, a partir da definição de uma linha-guia no terreno com orientação norte/sul, onde se implantou os três blocos principais: o pavilhão (em verde), o auditório (em laranja) e o restaurante (em roxo) – Figura 5. Tomou-se como ponto de partida no desenho da volumetria o conceito de sombreamento das fachadas e a ventilação natural, objetivando proporcionar conforto térmico e visual, além de reduzir o consumo energético da edificação.

A partir disso, foi proposta a elevação do bloco do pavilhão, permitindo maiores áreas de troca de calor com o ar, e a implantação de uma grande cobertura (em azul) para sombrear, principalmente, as fachadas norte e oeste durante os meses mais quentes do ano.

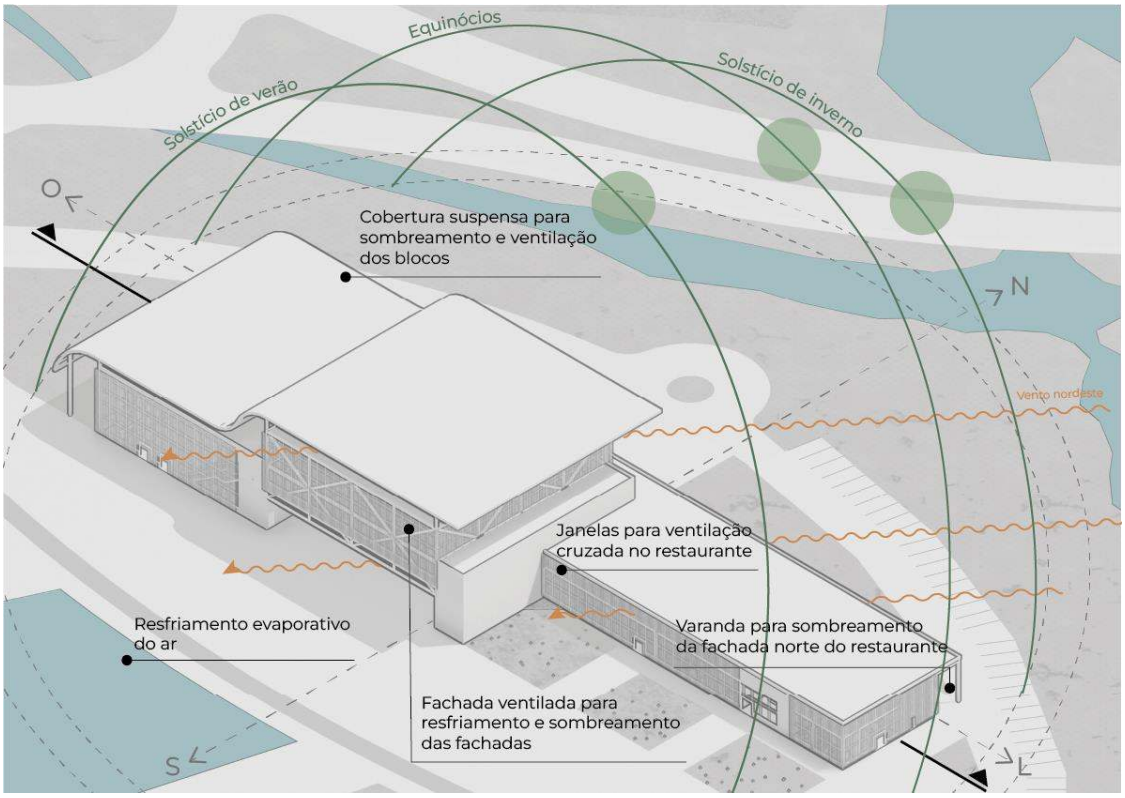
Figura 5: Partido arquitetônico do projeto



Fonte: os autores.

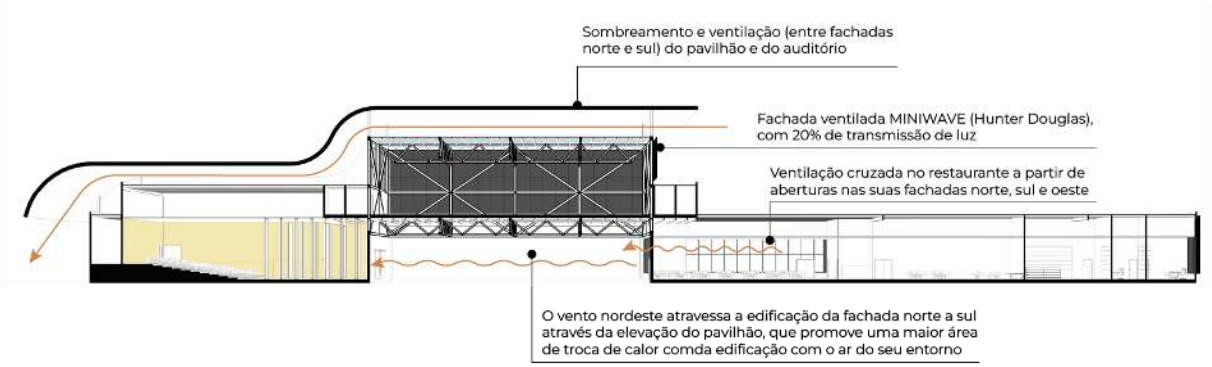
A partir do partido arquitetônico e do desenho dos ambientes, iniciou-se o aprimoramento das estratégias bioclimáticas definidas na primeira etapa do trabalho, com foco no tratamento da envoltória da edificação (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6: Esquema em perspectiva das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto



Fonte: os autores.

Figura 7: Esquema em corte das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto



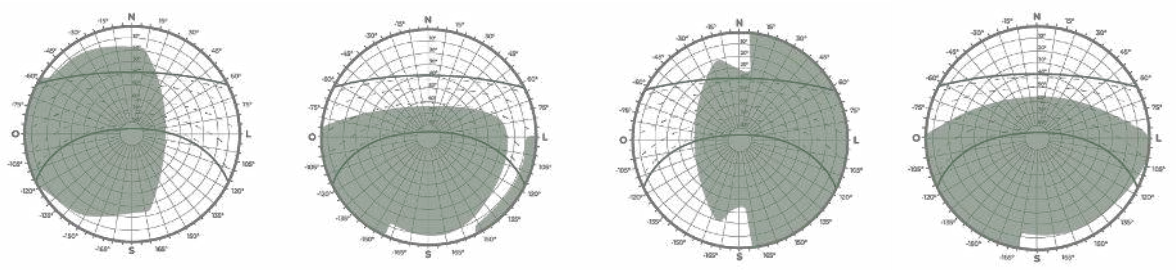
Fonte: os autores.

Foram utilizadas máscaras solares (Figura 8) geradas com o auxílio da ferramenta *online* Andrew Marsh Dynamic Overshadowing [9], buscando avaliar o efeito do sombreamento da grande cobertura e da própria volumetria, projetada para proteger grande parcela da fachada oeste contra a incidência solar direta durante todo o ano, e a fachada norte durante boa parte do dia e nos meses mais quentes do ano. Esta cobertura deve auxiliar, ainda, no resfriamento das demais coberturas da edificação ao permitir que a ventilação natural ocorra livremente entre elas (em destaque os ventos nordestes que atravessam as fachadas norte a sul).

Além disso, é importante reforçar que o próprio entorno natural da edificação foi adotado como estratégia bioclimática, uma vez que contribui para o resfriamento do ar, a exemplo dos córregos e do lago do Sapiens Parque e arredores (destacados em azul na Figura 6). A vegetação nativa, por sua vez, não sombreia muito a edificação e, portanto, não foi considerada na etapa de simulação.

As máscaras solares também contribuíram para identificar o período em que há incidência solar direta nas fachadas. Assim, para minimizar o impacto da radiação solar direta na carga térmica interna dos espaços, adotou-se um sistema de fachada ventilada com 20% de transmissão luminosa que promove ao mesmo tempo sombreamento e ventilação. Por não ser totalmente opaco, este sistema também prioriza o aproveitamento da iluminação natural nos espaços, já que garante certa permeabilidade visual do interior para o exterior da edificação, e vice-versa.

Figura 8: Máscaras solares dos elementos de sombreamento



Fonte: os autores.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA EDIFICAÇÃO BASEANDO-SE NO MÉTODO DA INI-C DO PBE EDIFICA

Com o objetivo de compreender a influência dos elementos construtivos aplicados ao projeto no seu desempenho térmico, foram realizadas análises a partir do método de simulação computacional da Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C) [6]. A edificação foi modelada a partir do Euclid, plug-in do software SketchUp, e a simulação foi realizada no Energy Plus 9.3.0. O arquivo climático utilizado foi o INMET 2018.

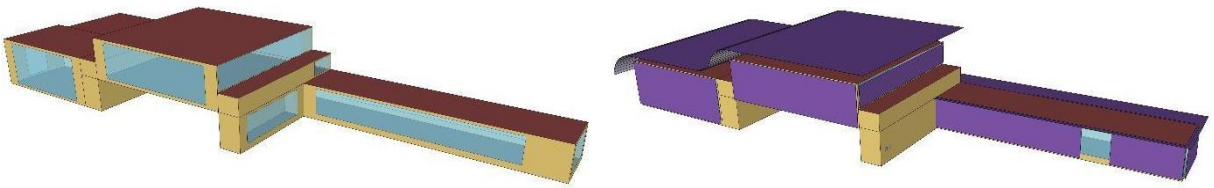
A análise comparou os resultados de carga térmica de resfriamento dos modelos reais com o modelo de referência, conforme orientações da INI-C. Os valores de referência considerados foram aqueles indicados na tabela A.8 da norma (Valores de referência para edificações que possuem tipologia não descrita anteriormente), indicados na Tabela 2. A primeira simulação comparou apenas as diferenças entre as duas volumetrias (real e referência, Figura 9) e os materiais e propriedades térmicas adotados foram os mesmos nos dois modelos. Os elementos alterados na volumetria foram as áreas de elementos transparentes (vidros, conforme projeto real) e os elementos de sombreamento (coberturas, beirais e fachadas ventiladas).

Tabela 2: Propriedades térmicas dos materiais do modelo de referência

PAREDES	
Tipo	Argamassa interna (2,5cm), bloco cerâmico furado (9cm), argamassa externa (2,5cm)
Transmitância térmica [W/(m².K)]	2,06
Absortância	0,8
Capacidade térmica [kJ/(m²K)]	150
COBERTURA	
Tipo	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5cm) e laje maciça de concreto (10cm)
Transmitância térmica [W/(m².K)]	2,39
Absortância	0,5
Capacidade térmica [kJ/(m²K)]	150
VIDROS	
Tipo	Vidro simples incolor 6mm
Fator solar	0,82
Transmitância térmica [W/(m².K)]	5,7

Fonte: Inmetro, 2022.

Figura 9: Volumetria dos modelos de simulação de referência e real



Nota: modelo de referência à esquerda e modelo real à direita. Fonte: os autores.

ANÁLISE DOS RESULTADOS E REAVALIAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

Após a análise dos resultados da primeira simulação, foram realizadas novas simulações com a aplicação de estratégias de eficiência energética na envoltória, com

o objetivo de atingir a percentagem de redução de carga térmica total anual necessária para a obtenção da Classificação A de eficiência energética pela INI-C.

Assim, esta etapa compreende a simulação dos modelos reais, considerando diferentes materiais de parede, cobertura e vidros (Tabela 3). A Tabela 4 apresenta um resumo das configurações das cinco simulações realizadas (etapa 2 e etapa 3 do trabalho).

Com base nos resultados de carga térmica de resfriamento anual dos modelos simulados, foram definidos os materiais finais para a proposta do centro cultural.

Tabela 3: Materiais utilizados na simulação dos modelos reais

COMPONENTE CONSTRUTIVO	MATERIAIS
Paredes	Placa de gesso (1,25cm), lã de vidro (10cm), placa de gesso (1,25cm)
Coberturas	Laje de concreto (30cm)
Vidros	Cebrace Cool-Lite SKN 154 6mm

Fonte: os autores.

Tabela 4: Resumo dos modelos simulados

ETAPA	MODELO	PAREDE	COBERTURA	VIDRO
2	Referência	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)	Vidro simples incolor 6mm
2	Real 01	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)	Vidro simples incolor 6mm
3	Real 02	Placa de gesso (1,25 cm), lã de vidro 10 cm), placa de gesso (1,25 cm)	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)	Vidro simples incolor 6mm
3	Real 03	Placa de gesso (1,25 cm), lã de vidro 10 cm), placa de gesso (1,25 cm)	Laje de concreto (30 cm)	Vidro simples incolor 6mm
3	Real 04	Placa de gesso (1,25 cm), lã de vidro 10 cm), placa de gesso (1,25 cm)	Laje de concreto (30 cm)	Cebrace Cool-Lite SKN 154 6mm

Fonte: os autores.

RESULTADOS

A análise dos resultados das 5 simulações (Tabela 5) indica que a estratégia que teve maior impacto no desempenho térmico da edificação foi a incorporação de sombreamento e ventilação natural a partir da volumetria do centro cultural (redução de 26,51% na carga térmica total de resfriamento). Porém, esta não foi suficiente para garantir ao projeto a Classificação A de eficiência energética da envoltória. Por este

motivo, a análise e a especificação de distintos materiais para as paredes, coberturas e vidros se fizeram muito importantes para alcançar o objetivo final do projeto.

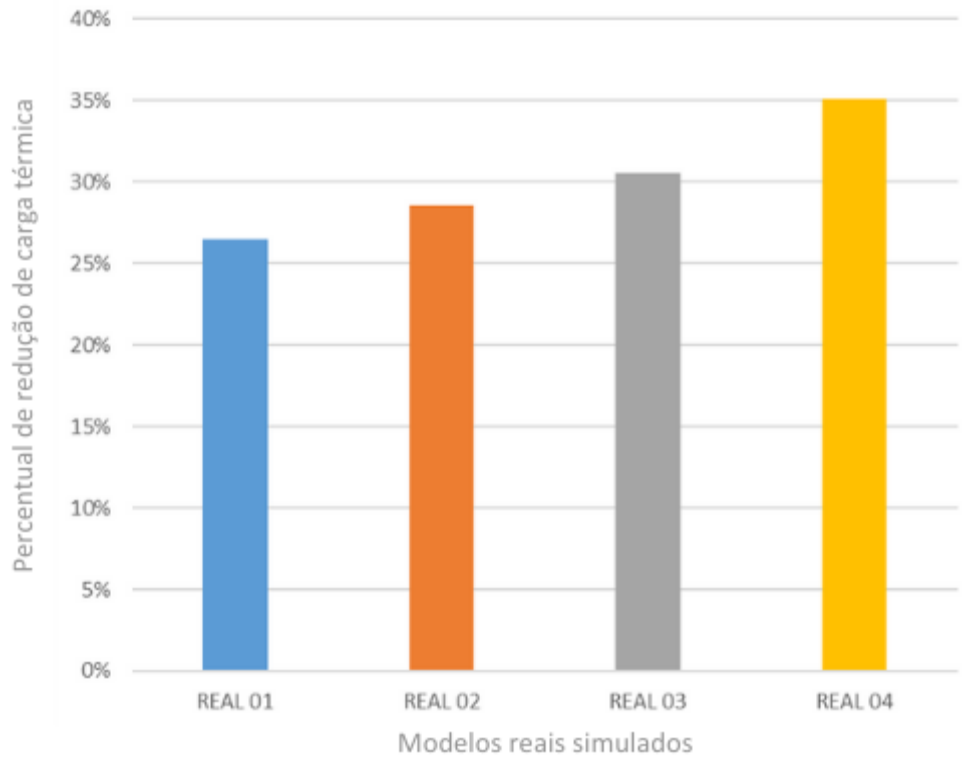
A Figura 10 apresenta a porcentagem de redução da carga térmica total anual de resfriamento dos 4 modelos reais simulados em relação ao modelo de referência. Observa-se que, entre as variações de materiais (modelos 2 a 4), aquele que teve maior impacto no desempenho térmico foi o vidro (modelo 4), que representou uma redução de 4,5% na carga térmica. Já as alterações nos materiais das paredes (modelo 2) e das coberturas (modelo 3) tiveram impacto parecido no resultado final: aproximadamente 2%.

Tabela 5: Resultado das simulações

Modelo	Carga térmica total de resfriamento [kWh/ano]
Referência	443.577,64
Real 01	325.965,53
Real 02	317.031,16
Real 03	308.060,34
Real 04	288.046,88

Fonte: os autores.

Figura 10: Gráfico de redução de carga térmica total de resfriamento dos modelos reais em relação ao modelo de referência



Fonte: os autores.

A partir das orientações da INI-C para a avaliação da classificação de eficiência energética de um centro cultural, a redução da carga térmica total anual de resfriamento do modelo Real 04 (35,06%) atingiu um resultado suficiente para a classificação A da envoltória deste projeto. Assim, entende-se que foi cumprido o objetivo da incorporação das estratégias bioclimáticas neste trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do Estudo de Caso apresentado, verificou-se que adotar estratégias de conforto e bioclimatologia durante a etapa de concepção projetual, como uma premissa de projeto, pode gerar menor esforço e maior viabilidade econômica para a implantação de tais sistemas. É nesta etapa que se permite ao arquiteto uma maior liberdade de desenho relacionada ao partido arquitetônico e, por conseguinte, à ampliação das estratégias bioclimáticas aplicadas.

Contudo, conforme observado durante o desenvolvimento do projeto em questão, nem sempre as primeiras ideias lançadas no partido arquitetônico são as mais adequadas em termos de eficiência energética. Nesse sentido, entende-se que são necessárias reiteradas análises e lançamentos de diferentes propostas em termos de materiais e técnicas construtivas para que se obtenha a melhor classificação de eficiência energética possível.

Nas análises e reanálises realizadas durante a elaboração do projeto, constatou-se que as estratégias de sombreamento e de ventilação natural (grande cobertura, elevação do bloco central e fachadas ventiladas, principalmente) tiveram um grande impacto na redução da carga térmica total anual de resfriamento simulada para a edificação. Desta maneira, ressalta-se a importância de estudar adequadamente as condicionantes de projeto relacionadas ao clima como forma de subsidiar o partido arquitetônico e de contribuir para um melhor desempenho energético da edificação.

Destaca-se ainda que o uso de sistemas construtivos de melhor desempenho térmico, como os vidros de alto desempenho e paredes em gesso acartonado com lã de vidro, também contribuíram para a obtenção de um projeto mais eficiente, considerando o clima de Florianópolis e a volumetria proposta para a edificação. Neste trabalho, tais estratégias se mostraram essenciais para a obtenção de uma envoltória mais eficiente, com classificação A de eficiência energética.

Conclui-se, portanto, que aspectos abordados neste trabalho podem contribuir para que a incorporação de estratégias de conforto e bioclimatologia no projeto arquitetônico sejam discutidas e implementadas durante a fase inicial de projeto, tanto nos ateliês de projeto do cursos de Arquitetura e Urbanismo quando na prática profissional do arquiteto e urbanista.

REFERÊNCIAS

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. 2008.

[2] BARRETO, I. Gestão de resíduos na construção civil. Sergipe, 2005.

[3] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro, 2014.

[4] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **2022 Global Status Report for Buildings and Construction**. 2022. Disponível em https:// www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction. Acesso em: 31 mai. 2023.

[5] MORSCH, M. R. S.; NUNES, L. Um olhar acadêmico sobre a aplicação de conforto ambiental nas disciplinas de projeto arquitetônico. **Anais do ENTAC 2018**, Foz do Iguaçu, p. 1157-1165, 2018.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria N°309/2022**. 2022

[7] SAPIENS PARQUE. **Sapiens Parque**. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI-C_Portaria%20309%20 de%202022.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023.

[8] FUNDAÇÃO CERTI. **Masterplan do Sapiens Parque: Projeto Específico de Urbanização**. Florianópolis, 2008.

[9] MARSH, A. ***Dynamic Overshadowing***. [Software online]. Disponível em: https://drajmarsh.bitbucket.io/shading-box.html. Acesso em: 2 set. 2023.