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

Edifício histórico com uso educacional: configurando aberturas para o conforto térmico

Historic building with educational use: setting openings for the thermal comfort

Jéssica Gomes de Carvalho
UERJ | Petrópolis | Brasil | jggomesccarvalho@gmail.com
Beatriz Se Keng Moon
UERJ | Petrópolis | Brasil | beatrizsekengmoon@hotmail.com
Sabrina Andrade Barbosa
UERJ | Petrópolis | Brasil | sandrade@esdi.uerj.br

Resumo

Nas últimas décadas, embora tenha aumentado o interesse em avaliar o desempenho ambiental de edifícios históricos no Brasil, estudos relacionados ao conforto térmico de edificações adaptadas para uso educacional ainda são pontuais. Assim, a partir de um diagnóstico das condições térmicas atuais, este estudo tem como objetivo verificar e comparar a influência da modificação de aberturas no desempenho de uma edificação histórica com uso educacional. Considerando um edifício do início do séc. XX localizado em Petrópolis - RJ, simulações computacionais por meio da ferramenta *DesignBuilder* foram realizadas para o edifício em seu estado atual e com um modelo alternativo que considera uma reconfiguração das aberturas. Cinco salas de aulas foram analisadas em diferentes pavimentos e orientações do edifício. Como resultados, observou-se que os ambientes analisados no estado original apresentaram horas de conforto que variam de 27,0% a 38,0% do tempo de ocupação, com prevalência de desconforto por frio, com perdas de calor principalmente devido à ventilação natural. A modificação proposta aumentou as horas de conforto, variando de 63,0% a 85,0% do tempo. Em conclusão, o estudo apresenta uma alternativa viável para a melhoria do conforto térmico em uma edificação histórica.

Palavras-chave: Simulação computacional. Edificação histórica. Edificação educacional. Desempenho térmico. Eficiência térmica.

Abstract

In recent decades, although interest in evaluating the environmental performance of historical buildings in Brazil has increased, studies related to the thermal comfort of buildings adapted for educational use are still sporadic. Thus, based on a diagnosis of the current thermal conditions, this study aims to verify and compare the influence of modifying openings on the performance of a historical building used for educational purposes. Considering a building from the early 20th century located in Petrópolis, RJ, computational simulations using the DesignBuilder tool were carried out for the building in its current state and with an alternative model that considers a reconfiguration of the openings. Five classrooms were analyzed on different floors and

Como citar:
SOBRENOMEDOAUTOR, A. Template para a conferência ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

orientations of the building. As a result, it was observed that the analyzed environments in their original state presented comfortable hours ranging from 27.0% to 34.0% of the occupancy time, with a prevalence of discomfort by cold, mainly due to heat loss through natural ventilation. The proposed modification increased the comfortable hours, ranging from 63.0% to 85.0% of the time. In conclusion, the study presents a viable alternative for improving the thermal comfort in a historical building.

Keywords: Computational simulation. Historic building. Educational building. Thermal performance. Thermal efficiency.

INTRODUÇÃO

Atualmente, devido à crescente demanda por energia e alterações climáticas, países da Europa e Ásia vêm definindo e adotando novas propostas para a redução do consumo de energia e das emissões de gases que promovem o efeito estufa por construções novas e antigas. A *Green Remodeling* na Coreia do Sul [1] e a *Energy Performance of Buildings Directive* na Europa [2] são exemplos das novas políticas adotadas. No Brasil, por outro lado, as políticas de eficiência energética no setor da construção são ainda limitadas [3] e embora nas últimas décadas tenha apresentado regulamentos para a eficiência energética de edificações novas, ainda não há normativas direcionadas às edificações históricas.

No país, há mais de mil edificações tombadas pelo Iphan [4]. Contudo, estudos que analisam seu desempenho térmico e energético são ainda pontuais [5]. Além disso, a maioria das pesquisas tem como foco edificações históricas de uso habitacional e administrativo, sendo ainda escassas análises realizadas em edificações históricas de cunho educacional [6], embora o conforto ambiental em tais edificações é fator crucial que influencia o desempenho dos usuários.

Em geral, dentre as principais alterações propostas para a adequação ambiental de edificações históricas estão: a substituição do tipo e das características dos vidros da fachada [7], a aplicação de dispositivos de sombreamento [8] e alterações nos materiais de paredes e coberturas [9].

Entre os estudos nacionais em edificações de ensino, alguns casos consideram apenas análises do edifício no seu estado atual, em que o objetivo foi o diagnóstico de suas condições ambientais. Dentre eles, Taveira [10] analisou duas instituições de ensino básico localizadas em João Pessoa (PB) – Escola Estadual Experimental de Ensino e Aprendizagem (SESQUI) e Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Presidente Médici (EEEMédici) –, que possui clima tropical úmido, caracterizado por temperaturas elevadas durante todo o ano, com média anual é de 26.4 °C. Ambas as edificações, construídas em 1970, compõe-se de blocos de salas de aulas e circulações e a partir da Avaliação Pós-Ocupação (APO), foi observado que a temperatura apresentou menores índices na classificação do conforto ambiental, enquanto a iluminação e o sombreamento apresentaram os maiores valores. Já a pesquisa de Cardoso *et al.* [11] avaliou a Escola Estadual Cecy Leite Costa, construída em 1965 e localizada em Passo Fundo (RS), que possui clima subtropical úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperatura média anual de 17.5 °C. Também, por meio da APO foi reportado

que 62.0% e 90.0% dos usuários sentem desconforto por calor no período da manhã e da tarde, respectivamente. Enquanto, no inverno somente 12,0% das pessoas se sentiram confortáveis. Nota-se assim que nos estudos que trabalham somente com o estado atual das edificações, foram detectados que a maioria dos usuários estão insatisfeitos com os níveis de conforto e que a arquitetura das edificações não favorece o conforto ambiental. Em outro estudo, contudo, foi realizada a análise comparativa do estado atual e após a intervenção em uma construção. Foi proposta a instalação de uma chaminé solar na fachada noroeste para melhorar a ventilação natural de uma edificação do campus da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), construída em 1985, localizada em Campinas (SP), com clima tropical de altitude, cuja temperatura média anual é de 22 °C, com verão quente precipitação e inverno agradável com pouca precipitação [12]. Após a modificação da fachada, a construção apresentou resultados positivos, apontando uma queda de 97,0% para 75,0% nas horas de desconforto. A partir dos trabalhos observados, nota-se uma carência de estudos que analisem a influência de alterações em edificações de ensino e que considerem as aberturas de janelas no conforto térmico de edificações históricas. Dessa forma, a partir de um diagnóstico das condições térmicas atuais, este estudo tem como objetivo verificar e comparar a influência da modificação de aberturas no desempenho térmico de uma edificação histórica com uso educacional localizada em Petrópolis, RJ. O casarão que atualmente abriga o curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) foi erguido no século XX, originalmente com uso residencial.

METODOLOGIA

O edifício analisado está situado em Petrópolis (22.3°S, 43.1°W), cidade serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

Figura 1: Localização do edifício avaliado

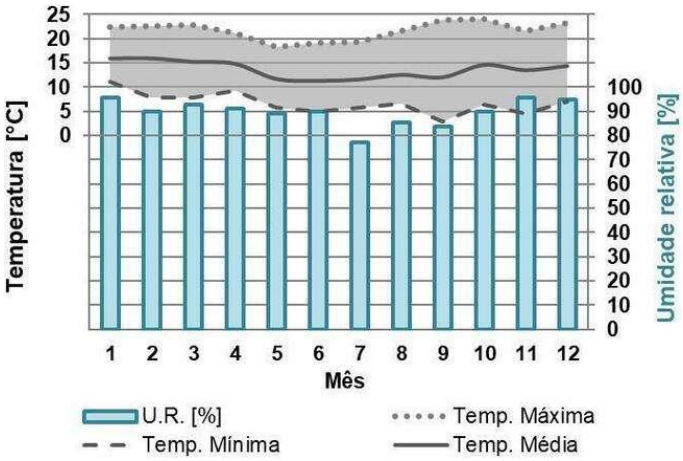


Fonte: Google maps, 2024. Adaptado pelas autoras.

O clima de Petrópolis é classificado como subtropical de altitude, segundo Köppen-Geiger. A cidade apresenta médias anuais de temperatura e umidade relativa de 13,6°C e 89,5%, respectivamente. A velocidade média do vento é de 4m/s. Em geral, durante as estações frias (de junho a setembro), os níveis de temperatura do ar são os mais baixos, atingindo em média 11.0 °C, enquanto no verão (dezembro a março) a temperatura média do ar atinge 22.0 °C. Os níveis de precipitação e umidade são mais

baixos em julho e agosto (83,0% e 51 mm em média, respectivamente). Por outro lado, durante as estações quentes, a umidade atinge o pico de 95,0% e a precipitação acumulada chega a 960mm. A Figura 2 apresenta médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar ao longo do ano, a partir de dados retirados do INMET 2016 [13].

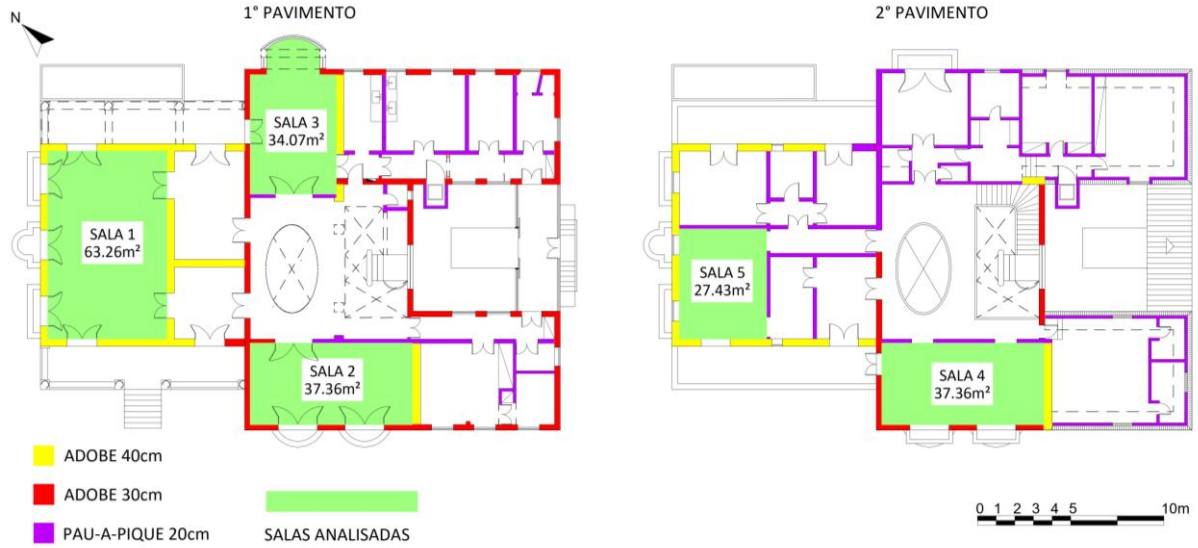
Figura 2: Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Petrópolis



Fonte: INMET, 2012. Adaptado pelas autoras.

O edifício avaliado possui dois pavimentos: no térreo encontram-se salas de aulas, salas de apoio, além de banheiros e copa; no segundo pavimento, localizam-se salas de aulas, secretaria, sala dos professores, de reunião, entre outras (Figura 3). As diferentes paredes da edificação e as salas de aula investigadas estão em destaque na figura. Os materiais do envelope, bem como as configurações adotadas são apresentados na Tabela 1.

Figura 3: Planta baixa da edificação



Fonte: Autoras.

Tabela 1: Caracterização do modelo do edifício

Materiais do envelope	Espessura (cm)	Transmitância térmica (W/m2-K)
Parede pau-a-pique	20	1,879
Parede adobe	30	1,493
Parede adobe	40	1,237
Piso térreo	80	1,434
Piso primeiro pav.	38	1,367
Cobertura	43	2,068
Horário de ocupação	**Abertura de portas e janelas***	**Mecanismo de ventilação**
8:00-19:00	8:00-19:00	Ventilação natural
Ganhos de calor interno (W/m²)		
Ambiente	**Ocupação**	**Equipamentos**
Sala 1	0,38	2,90
Sala 2	0,62	3,75
Sala 3	0,60	3,75
Sala 4	0,62	3,75
Sala 5	0,87	3,90

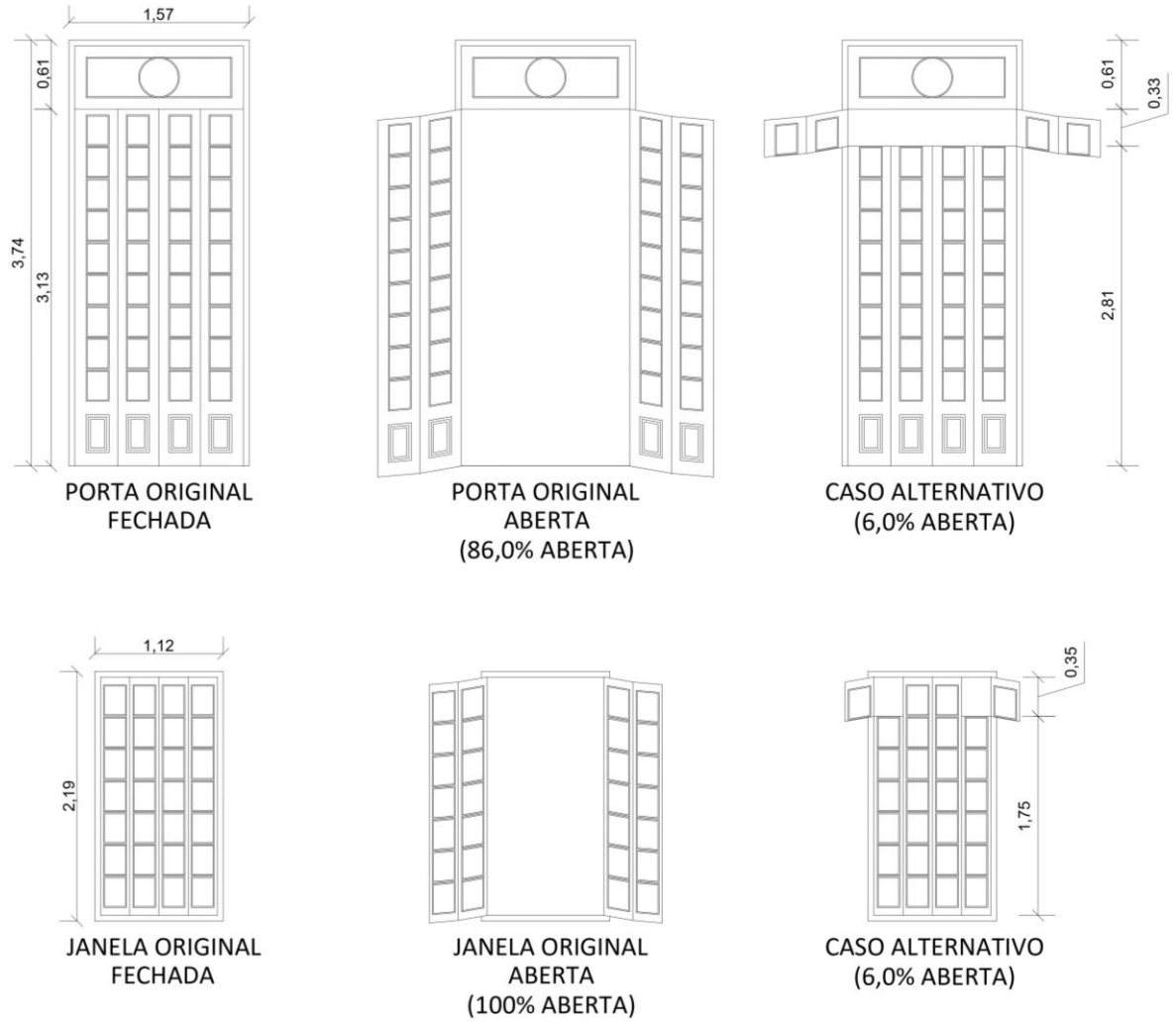
Fonte: Autoras.

*As portas e janelas foram consideradas 100% abertas durante o horário pré-estabelecido.

Os ganhos de calor interno correspondem ao número de alunos usualmente presentes nas salas de aula da instituição. De forma investigar a influência da ventilação natural no desempenho dos ambientes analisados, optou-se por manter os ganhos de calor relativos à ocupação constantes ao longo no ano, ainda que, de forma prática, os meses de janeiro e julho normalmente equivalem ao recesso acadêmico.

Considerando a edificação em seu estado atual, as portas possuem 86% de área de abertura (uma vez que as bandeiras equivalem a 14,0% da porta). Apenas a Sala 5 possui janelas, as demais possuem apenas portas que dão acesso a pequenas varandas. A partir dos resultados do caso atual, o caso alternativo considerou uma reconfiguração das aberturas das salas. Dessa forma, um novo modelo foi simulado considerando a abertura apenas dos vidros superiores, resultando em 6,0% abertos. Os cálculos de abertura foram realizados com base nas portas, que representam a maioria das aberturas presentes. No modelo alternativo, as partes superiores das portas e janelas se abrem de forma a permitir a ventilação. Na prática, deverá ser implantado um sistema de vara para abri-las e fechá-las de forma manual. A Figura 4 refere-se às elevações das aberturas do caso original e alternativo, com representações simplificadas das possibilidades de abertura das portas e janelas. No modelo alternativo, o tempo de abertura foi mantido, conforme Tabela 1.

Figura 4: Elevação das portas e janelas



Fonte: Autoras.

Para a análise, a edificação em seu estado atual e a alternativa proposta foram modeladas e simuladas no software *DesignBuilder* [14]. Os resultados apresentam e discutem os ganhos e as perdas de calor do edifício. Além disso, a aceitabilidade térmica para todo o ano, além do verão e inverno, foi calculada conforme a abordagem adaptativa indicada pela ASHRAE Standard 55 [15].

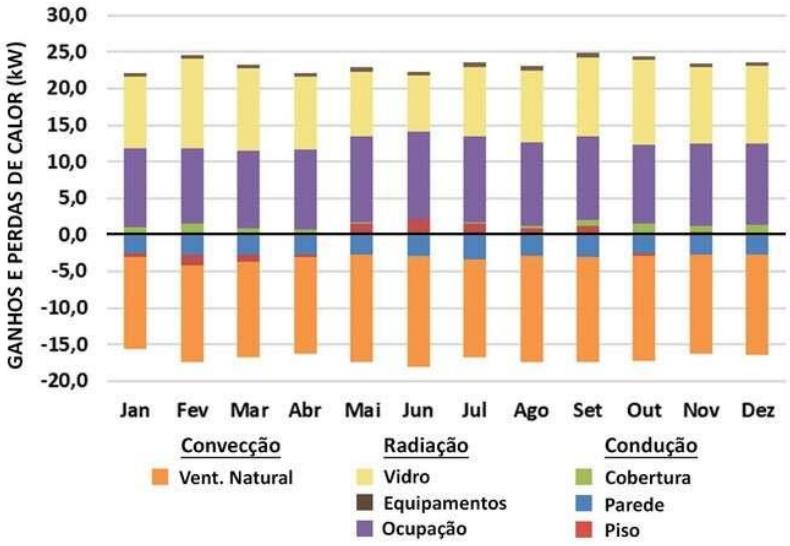
RESULTADOS E DISCUSSÃO

EDIFICAÇÃO NO ESTADO ATUAL

Os resultados do edifício em seu estado atual indicam que as perdas de calor (Figura 5) se devem, especialmente, à ventilação natura, cuja média anual é de 13,8kW. Em relação aos ganhos de calor, foi observado que ocorrem principalmente pela radiação incidente nos vidros das aberturas, além dos ganhos internos pela ocupação, em que as médias anuais correspondem a 10,2 kW e 11,25kW, respectivamente. Foi possível perceber ainda que não há desconforto por calor ao longo do ano, nem mesmo no

período de verão (Tabela 2), o que é consequência das baixas temperaturas da cidade. Dessa forma, os momentos de desconforto por frio ocorrem em mais de 60.0% do ano. Em contraste, o estudo de Cardoso (2017) [11], realizado em uma região que apesar de ter clima diferente, apresenta uma média de temperatura anual semelhante, apontou a falta de ventilação adequada, levando ao desconforto por calor no verão, já que as janelas são mantidas fechadas.

Figura 5: Ganhos e perdas de calor do edifício no estado original



Fonte: Autoras.

Tabela 2: Aceitabilidade térmica das salas analisadas em seu estado original

	Ano			Verão			Inverno		
Ambiente	Desc. frio	Conf.	Desc. calor	Desc. frio	Conf.	Desc. calor	Desc. frio	Conf.	Desc. calor
Sala 1	72,0%	28,0%	0,0%	55,0%	45,0%	0,0%	87,0%	13,0%	0,0%
Sala 2	73,0%	27,0%	0,0%	48,0%	52,0%	0,0%	94,0%	6,0%	0,0%
Sala 3	62,0%	38,0%	0,0%	42,0%	58,0%	0,0%	83,0%	17,0%	0,0%
Sala 4	71,0%	29,0%	0,0%	45,0%	55,0%	0,0%	93,0%	7,0%	0,0%
Sala 5	66,0%	34,0%	0,0%	43,0%	57,0%	0,0%	89,0%	11,0%	0,0%

Fonte: Autoras.

Em relação aos ambientes analisados, percebe-se que as salas 1, 2 e 4 são as que apresentam mais momentos de desconforto por frio, correspondendo a 72,0%, 73,0% e 71,0% das horas do ano, respectivamente. Esses ambientes estão voltados para sudoeste e noroeste, além de possuírem grandes aberturas. Em contrapartida, a sala 3 é o ambiente que apresentou mais momentos de conforto, com frio ocorrendo em 62,0% do ano, o que pode ser devido ao domo de vidro deste ambiente.

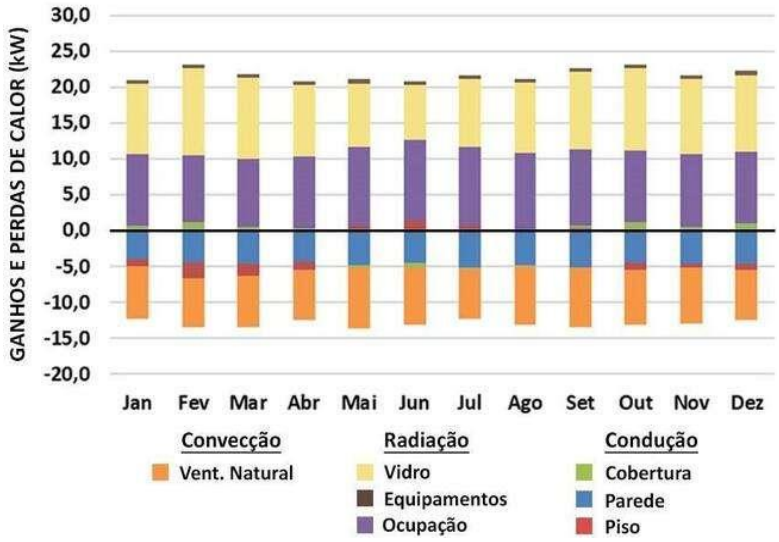
A partir dos resultados do estado original da casa, nota-se que é prioridade identificar soluções para mitigar as condições de frio da edificação. Isso difere de outros estudos brasileiros que visam a identificação de alternativas para mitigar o desconforto por calor. Dessa forma, considerando a manutenção das características da fachada do edifício histórico, e considerando que a ventilação é responsável pelas maiores perdas

de calor neste caso, optou-se pela reconfiguração das aberturas. O item seguinte apresenta e discute as melhorias nas condições térmicas proporcionadas pela alteração proposta.

CASO ALTERNATIVO – ABERTURAS DE 6,0%

A reconfiguração das aberturas resultou em uma melhoria expressiva nas condições de conforto térmico dos ambientes analisados. A Figura 6 apresenta os ganhos e perdas de calor no edifício do caso alternativo. É possível perceber que nesse caso, as perdas de calor convectivas devido à ventilação natural foram menores que o caso original (com uma média anual de 7,60kW), se tornando similar às perdas por condução pelas paredes.

Figura 6: Ganhos e perdas de calor do edifício no caso alternativo



Fonte: Autoras.

A Tabela 3 apresenta a aceitabilidade térmica das salas avaliadas do caso alternativo. Percebe-se que os níveis de conforto aumentaram em todos os ambientes avaliados, em média de 44,0% em relação ao edifício em sua forma original. É importante ressaltar ainda que mesmo com a diminuição da ventilação, a solução não resultou em momentos de desconforto por calor. Dessa forma, no período de verão, os momentos confortáveis atingiram até 94,0% das horas ocupadas na sala 3, por exemplo.

Tabela 3: Aceitabilidade térmica das salas analisadas após modificação

	Ano			Verão			Inverno		
Ambiente	Desc. frio	Conf.	Desc. calor	Desc. frio	Conf.	Desc. calor	Desc. frio	Conf.	Desc. calor
Sala 1	37,0%	63,0%	0,0%	20,0%	80,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%
Sala 2	30,0%	70,0%	0,0%	11,0%	89,0%	0,0%	46,0%	54,0%	0,0%
Sala 3	15,0%	85,0%	0,0%	6,0%	94,0%	0,0%	24,0%	76,0%	0,0%
Sala 4	26,0%	74,0%	0,0%	8,0%	92,0%	0,0%	42,0%	58,0%	0,0%
Sala Teórica	16,0%	84,0%	0,0%	7,0%	93,0%	0,0%	25,0%	75,0%	0,0%

Fonte: Autoras.

Cabe destacar que, embora as salas 1 e 5 estejam ambas orientadas para noroeste e tenham paredes de adobe de 40cm, a sala 5 possui mais momentos de conforto que a sala 1. Isso pode ser explicado pelas menores dimensões da sala 5, possuindo menos aberturas para o exterior e por estar localizada no pavimento superior, recebendo calor da cobertura.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo verificar e comparar a influência da intervenção das aberturas das janelas no desempenho de uma edificação histórica de uso educacional em Petrópolis. Esse trabalho se destaca por investigar a alteração de aberturas em edificações históricas para o clima frio em território brasileiro, com manutenção das características originais da fachada. A partir das simulações e análises realizadas, observou-se que a abertura apenas da porção superior das janelas e portas resultou em menores perdas de calor convectivas, aumentando em média, 44,0% dos momentos de conforto nas salas de aula avaliadas.

É importante destacar que o estudo apresenta limitações relacionadas ao modelo computacional, uma vez que há variação de uso, ocupação e aberturas de janelas por parte dos usuários em cada ambiente, dependendo da época do ano. Entretanto, para as simulações, os parâmetros foram padronizados para todos os ambientes analisados.

Por último, a partir da análise, nota-se que o campus de arquitetura e urbanismo em Petrópolis apresenta importantes lacunas que podem orientar futuras pesquisas. Como por exemplo, realizar diagnósticos de percepção do conforto ambiental dos usuários e análises do padrão de uso e abertura das janelas ao longo de um período de um ano, além, de estratégias comportamentais adotadas pelos usuários para o enfrentamento do desconforto térmico.

Em suma, este artigo destaca a importância de estudos para avaliar o desempenho térmico de edificações históricas adaptadas para outros usos, permitindo compreender variações sazonais e a eficácia de intervenções. Além da redução de aberturas, explorar outras medidas passivas podem contribuir para um entendimento de alternativas viáveis em edificações antigas.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] PARK, H.; PARK, J; KIM, S; CHANG, S.J. Energy retrofit technology for modern and contemporary educational historical buildings considering preservation and utilization aspects. **Energy Reports**, v. 11, p. 3995-4007, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.057

[2] LAMBERTI, G.; CONTRADA, F.; KINDINIS, A. Exploring adaptive strategies to cope with climate change: The case study of Le Corbusier's Modern Architecture retrofitting. **Energy and Buildings**, v. 302, p. 113756, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113756.

[3] SILVERO, F.; RODRIGUES, F.; MONTELPARE, S.; SPACONE, E.; VARUM, H. The path towards buildings energy efficiency in South American countries. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 646-665, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.028

[4] INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **IPHAN** Bens tombados. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/126. Acesso em: 5 de mar. 2021.

[5] MARTÍNEZ-MOLINA, A.; TORT-AUSINA, I.; CHO, S.; VIVANCOS, J-L. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 70-85, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018.

[6] MOON, B. S. K.; MESQUITA, C. B.; BARBOSA, S. A. Estamos preocupados com o desempenho ambiental de edifícios históricos no Brasil? **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, v. 13, p. e022018, 2022. DOI:http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665237

[7] JAPIASSÚ, P. **Método para avaliação de retrofit energético em edificações históricas brasileiras**. 2019. 321 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

[8] MORO, J.; CORREA, P. C. B.; KRUGER, E. Avaliação da Eficiência Energética do Tribunal de Contas do Paraná, sediado em Curitiba. **Paranoá**, n. 28, p. 1-22, set. 2020. DOI: https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n28.2020.06

[9] MOON, B.S.K.; GONÇALVES, S. B.; BARBOSA, S. A. The Cost Of Rehabilitating A Historical Building: Application Of Roof Materials Alternatives Towards Thermal Comfort In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE – PLEA 22, 36, 2022, Santiago. **Proceedings** [...]. Santiago: PLEA, 2022. v.2, p.523-529.

[10] TAVEIRA, F. G. **Práticas sócio-ambientais no espaço escolar: uma reflexão sobre a percepção dos usuários de duas escolas do ensino fundamental em João Pessoa**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

[11] CARDOSO, G.; VISENTIN, T.; BENINCÁ, L.; NECKEL, A. Post-Occupancy Evaluation for a school building: a case study in the city of Passo Fundo/RS, Brazil. In: PASSIVE LOW ENERGY ARCHITECTURE - PLEA 2017, 33, 2017, Edinburgh. **Proceedings** […]. Edinburgh: NCEUB, 2017. v. 2, p. 2483-2490.

[12] FERNANDES, L. O.; LABAKI, L. C. Retrofit of educational facility through passive strategies in hot climate. In: WINDSON CONFERENCE: MAKING CONFORT RELEVENT, 9., 2016, Windsor. **Proceedings** […]. Windsor: NCEUB, 2016. p. 532-541.

[13] Roriz, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos, SP, Brasil, 2012.

[14] DesignBuilder: Software Ltd. 7.0.2.006. Reino Unido: DesignBuilder Software Limited, 2022.

[15] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2023**. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, Estados Unidas da América, 2023.