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

Desempenho de sistemas de ventilação natural para resfriamento de um edifício escolar sob um cenário de mudanças climáticas em Viçosa - MG

Desempeño de sistemas de ventilación natural para enfriamiento de un edificio escolar bajo un escenario de cambios climáticos en Viçosa - MG

Performance of natural ventilation systems for cooling a school building under a climate change scenario in Viçosa - MG

Desempenho térmico do ambiente construído / *Desempeño térmico del ambiente construido / Thermal performance of the built environment*

Santos, Lorraine Vaz Pessoa dos
Graduanda, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, lorraine.santos@ufv.br

Carlo, Joyce Correna
Doutora, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, joycecarlo@ufv.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi investigar, a partir de simulações termoenergéticas, as contribuições da ventilação natural e mecânica em uma edificação escolar existente para a melhoria do conforto térmico do usuário. Para isso, foram combinados Materiais de Mudança de Fase (PCMs), chaminés térmicas, ventilação natural diurna, noturna e ventilação mecânica (insufladores) para avaliação de salas de aula. A edificação foi simulada para uma cidade brasileira classificada na Zona Bioclimática 2M em um cenário de mudanças climáticas. Os resultados indicam que a ventilação mecânica traz maiores contribuições para o conforto térmico que a utilização de PCM. O emprego de PCM também trouxe benefícios, porém somente se usado de forma concomitante à ventilação mecânica. Esses resultados contribuem para a ampliação do entendimento acerca de adaptações em edificações escolares brasileiras para cenários climáticos futuros.

Palavras-chave: Ventilação mecânica. PCM. Chaminé Térmica. Conforto térmico. Parede ventilada.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue investigar, a partir de simulaciones termoenergéticas, las contribuciones de la ventilación natural y mecánica en un edificio escolar existente para mejorar el confort térmico de los usuarios. Para este propósito se combinaron Materiales de Cambio de Fase (PCMs), chimeneas térmicas, ventilación natural diurna y nocturna y ventilación mecánica (sopladores) para evaluar las aulas. El edificio fue simulado para una ciudad brasileña clasificada en la Zona Bioclimática 2M en un escenario de cambio climático. Los resultados indican que la ventilación mecánica aporta mayores contribuciones al confort térmico que el uso de PCMs. El empleo de PCMs también generó beneficios, pero solo si se utilizó de manera conjunta con la ventilación mecánica. Estos resultados contribuyen a ampliar la comprensión sobre las adaptaciones en edificios escolares brasileños para escenarios climáticos futuros.

Palabras clave: Ventilación mecánica. PCM. Chimenea térmica. Confort térmico. Pared ventilada.

Abstract

The objective of this paper was to investigate, through thermo-energy simulations, the contributions of natural and mechanical ventilation in an existing school building to improve user thermal comfort. For this purpose, Phase Change Materials (PCMs), thermal chimneys, daytime and nighttime natural ventilation and mechanical ventilation (blowers) were combined to evaluate classrooms. The building was simulated for a Brazilian city classified in Bioclimatic Zone 2M under a climate change scenario. The results indicate that mechanical ventilation provides greater contributions to thermal comfort than the use of PCMs. The use of PCMs also brought benefits, but only when combined with mechanical ventilation. These results contribute to expanding the understanding of adaptations in Brazilian school buildings for future climate scenarios.

Keywords: Mechanical ventilation. PCM. Thermal chimney. Thermal comfort. Ventilated wall.

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

Introdução

O tema sobre o enfrentamento das mudanças climáticas tem pautado discussões desde a década de 1970, apesar do assunto ter ganhado maior relevância a partir de 1988 com a criação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC).

O último relatório do IPCC (AR6) apontou que mesmo se todos os países cumprissem os compromissos climáticos, isso não seria suficiente para manter o aquecimento global em 1.5 °C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022).

Segundo o balanço energético nacional (2024), o setor de edificações comerciais, residenciais e públicas consomem 51,8% da eletricidade no país. Com as transformações climáticas, o uso de ar-condicionado tende a aumentar e, por consequência, o consumo de eletricidade. Nesse sentido, as estratégias passivas de climatização podem ser mais utilizadas, uma vez que elas "consistem no ato de climatizar sem ter um consumo energético, aproveitando as condições naturais para a criação e manutenção de um microclima" (Gonzales, 2021, p. 1).

No cenário atual das escolas brasileiras, a estratégia de ventilação foi analisada em suas diferentes formas de aplicação por vários pesquisadores. Rackes et al. (2015) destacou que a ventilação natural nas escolas pode ser potencializada com o uso de ventiladores de teto, reduzindo a necessidade de sistemas artificiais de condicionamento de ar. Já Oliveira, Cunha e Leitzke (2020) analisaram o conforto térmico em prédios de salas de aula naturalmente ventilados, destacando que a eficiência da ventilação depende fortemente do design arquitetônico e da distribuição das áreas de permanência temporária. Eles observaram que a escolha adequada dos materiais e a configuração das aberturas podem impactar significativamente o conforto térmico, reduzindo a necessidade de ventilação mecânica. Segundo Gonzales (2021), as soluções passivas de climatização em escolas brasileiras têm sido usualmente aplicadas pelo emprego de ventilação natural através de aberturas na edificação.

Além da natural, Rackes et al. (2015) avaliou o potencial de conforto térmico em um protótipo de escola com ventilação mecânica nas zonas bioclimáticas 1, 3 e 8 [1] considerando uma zona de clima frio, uma de clima ameno e outra de clima quente e os resultados indicaram que mesmo em zonas

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

com clima mais quente, como a cidade de Salvador, as temperaturas operativas situaram-se na zona de conforto em quase todas as horas do ano apenas com o uso de ventilação mecânica.

HaihuaZhang et. al (2021) realizou uma revisão sobre a combinação de abordagens de ventilação natural. Os autores concluíram que dispositivos de ventilação associados a PCMs podem melhorar o desempenho da ventilação, pois eles tendem a estabilizar a temperatura do ambiente ao reduzir a carga de resfriamento em condições climáticas mais amenas, principalmente quando o PCM é combinado com ventilação noturna (HaihuaZhang et. al, 2021). Ainda, segundo a revisão, a combinação de ventilação natural e mecânica é o método mais comum utilizado nos estudos.

Objetivos

Avaliar as contribuições da ventilação natural e da mecânica com a combinação de PCM e chaminés térmicas, aplicadas a um modelo de edifício escolar existente, para a melhoria do conforto térmico em um cenário de mudanças climáticas em um clima da ZB 2M.

Metodologia

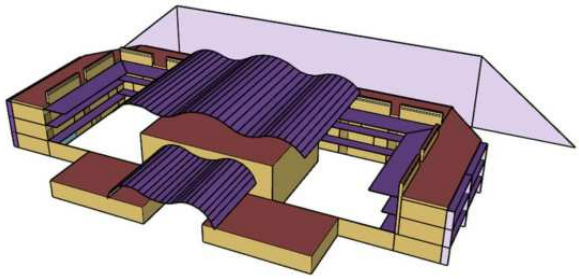
Edifício real

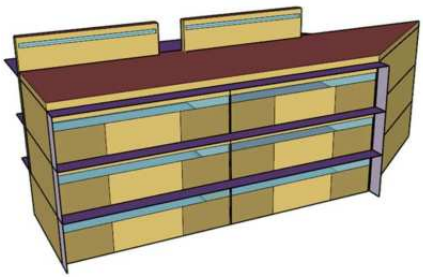
O Pavilhão de Aulas II (PVB) da Universidade Federal de Viçosa é um edifício de três pavimentos com 6.705 m² de área construída. Ele possui 31 salas de aula e é naturalmente ventilado, sem possuir sistema ativo de condicionamento de ar. A ventilação cruzada na edificação se dá através das aberturas de portas e janelas, além de chaminés térmicas.
Na Figura 1 é apresentado o modelo no EnergyPlus do PVB que foi previamente calibrado e validado com dados medidos por Souza (2024).

Figura 1: Modelo Pavilhão de Aulas II (PVB).

Figura 2: Modelo Simplificado Pavilhão de Aulas II (PVB).

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.





Fonte: As autoras.

Caso Base: Protótipo PVB

Devido ao elevado custo computacional para simulação da edificação completa, uma parte do PVB foi modelada. Dessa forma, pelo fato de o edifício possuir uma simetria, optou-se por avaliar um conjunto de salas de aula de somente um lado do Pavilhão de Aulas. O modelo utilizado como caso base (Figura 2) possui 9 salas de aula, sendo 6 consideradas zonas com trocas térmicas e 3 salas de formato triangular. As paredes em contato com o restante da edificação foram configuradas como adiabáticas e a edificação foi rotacionada nas quatro orientações. Ainda, o modelo possui duas chaminés térmicas que ligam os três pavimentos e varandas que sombreiam a edificação.

Para a simulação do desempenho térmico do caso base foi utilizado o EnergyPlus na versão 22.1 e para modelagem, o SketchUp 2017. Utilizou-se a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) para a inserção dos parâmetros construtivos, com paredes externas de blocos de concreto e reboco na cor branca e paredes internas com gesso acartonado e lã de vidro como isolante térmico. Em relação ao modelo de ventilação, utilizou-se o módulo AirFlowNetwork para representar ventilação natural multizonas, foi configurado um padrão de ventilação natural nos horários de aula, ou seja, de 7h às 22h. O padrão de uso das luzes e equipamentos foi configurado de acordo com o horário de aula e o padrão de ocupação foi de 60% da capacidade total. O gasto metabólico e as cargas térmicas dos usuários são compatíveis com as indicações de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Arquivo Climático

O último relatório do IPCC, o AR6 (2022), apresentou cinco cenários de emissões: SSP1-1.9; SSP1-2.6; SSP2-4.5; SSP3-7.0 e SSP4-8.5, sendo que a ordem da numeração corresponde ao nível

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

crescente de emissões de Gases do Efeito Estufa e CO_2, ou seja, o SSP4-8.5 seria o caso mais crítico e o SSP1-1.9 o cenário mais otimista. O cenário SSP2-4.5 para o ano de 2050 foi adotado, uma vez que algumas pesquisas indicam uma tendência de concretização de um cenário intermediário (IPCC, 2021; Pedersen et al, 2021; Pielke Jr et al, 2022). A comparação do arquivo climático histórico e o arquivo climático futuro no cenário SSP2-2.45 para Viçosa (Tabela 1) indica o aumento de 1.25 °C na média de temperatura de bulbo seco, aumento na amplitude térmica de 3°C, além de um aumento de 70% dos graus horas de resfriamento e diminuição de 50% de graus horas de aquecimento.

Tabela 1: Comparação arquivo climático histórico e arquivo climático futuro cenário SSP2-2.45 do IPCC

Arquivo Climático	Temperatura de Bulbo Seco Média (°C)	Amplitude (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Irradiação Média (Wh/m²)	Graus Horas de Resfriamento (°C.h)	Graus Horas de Aquecimento (°C.h)
Histórico Viçosa 1985-2014 TMY	21.08	21.9	76.77	191.15	4341	3527
SSP2-4.5 2050	22.33	24.9	74.98	194.14	7387	1753

Fonte: As autoras.

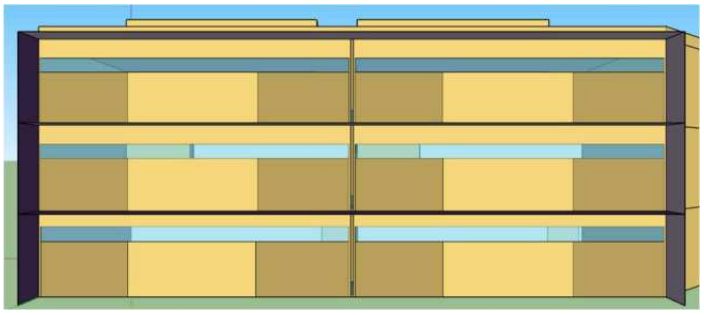
Medidas de Conforto Térmico

Como medidas para o aumento do conforto térmico em um cenário de mudanças climáticas, foi utilizada a ventilação natural através das próprias aberturas da edificação e a mecânica através de insufladores nas salas de aula (Tabela 2). Também, foram utilizadas paredes com cavidades ventiladas (Figura 3), com ventilação natural e mecânica. A cavidade ventilada possui 10 centímetros de espessura e o insuflador insufla 3 m/s de ar nas salas após passar pela cavidade ou diretamente na sala de aula, conforme o caso da Tabela 2.

A ventilação foi combinada com o uso de PCM na camada mais interna e mais externa das paredes. O PCM RT21HC foi escolhido por ser o mais adequado para as condições climáticas da ZB 2M (Oliveira, 2023). Ainda, ele apresenta capacidade de armazenamento de calor de 190 kJ/kg, temperatura de fusão de 20-23 °C e temperatura de congelamento de 21-19°C, sendo o pico principal em 21°C. Por fim, todos os casos possuem as chaminés térmicas integradas ao modelo, conforme existente no edifício real e no caso base.

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

Figura 3: Geometria do Modelo Paredes com cavidades ventiladas.



Fonte: As autoras.

Tabela 2: Medidas de Conforto Térmico Simuladas

Medida de Conforto Térmico	Janelas	Ventilação Forçada
1) SEM PCM – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural	Abertas	-
Ventilação Natural e Forçada 24h	7 às 22h	24h
Ventilação Natural e Forçada Noturna		17 às 08h
2) PCM21 CAMADA INTERMEDIÁRIA NAS PAREDES INTERNAS – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Externa	Abertas	-
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Externa	7 às 22h	24h
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Externa		17 às 08h
3) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS AS PAREDES – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Interna	Abertas	-
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Interna	7 às 22h	24h
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Interna		17 às 8h
4) INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas	Fechadas	7 às 22h
5) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS AS PAREDES - INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas com PCM21 – Camada Interna	Fechadas	7 às 22h

Fonte: As autoras

Para o conjunto de casos dos grupos 1, 2 e 3 que possuem insuflador na cavidade, a ventilação é tanto mecânica através da ventilação na cavidade da parede intermediária entre as salas quanto natural através das janelas da edificação. Em todos os casos as portas permanecem fechadas.

Em relação ao PCM, para os casos do grupo 2, eles foram alocados na camada intermediária das paredes internas de gesso acartonado que dividem a sala da cavidade. No grupo de casos 3, o

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

PCM está localizado na face interna de todas as paredes, ou seja, na camada voltada ao ambiente interno de análise.

Resultados e Discussão

A Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) e o Erro Médio de Viés (MBE), foram calculados considerando a diferença entre as temperaturas operativas dentro das salas de aulas do caso base e de cada caso com a medida de conforto térmico indicada. A alternativa que apresentou melhores resultados foi o caso 4 com insuflador dentro das salas de aula sem PCM (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3: Análise RMSE e MBE dos Casos Simulados (8760h do ano)

Medida de Conforto Térmico	RMSE	MBE
1) SEM PCM – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural	CASO BASE	CASO BASE
Ventilação Natural e Forçada 24h	1.199	1.043
Ventilação Natural e Forçada Noturna	1.124	0.939
2) PCM21 CAMADA INTERMEDIÁRIA NAS PAREDES INTERNAS – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Externa	0.460	0.321
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Externa	1.220	1.069
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Externa	1.144	0.963
3) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS AS PAREDES – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Interna	0.472	0.335
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Interna	**1.226**	**1.086**
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Interna	1.152	0.987
4) INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas	**1.483**	**1.295**
5) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS AS PAREDES - INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas com PCM21 – Camada Interna	1.410	1.242

Fonte: As Autoras.

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

Tabela 4: Análise RMSE e MBE dos Casos Simulados (Horário de Aulas – 07 às 22h)

Fonte: As Autoras.

Medida de Conforto Térmico	RMSE	MBE
2) PCM21 CAMADA INTERMEDIÁRIA NAS PAREDES INTERNAS – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Externa	0.328	0.676
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Externa	0.829	2.252
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Externa	0.662	2.028
3) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS PAREDES – INSUFLADOR NA CAVIDADE		
Ventilação Natural com PCM21 – Camada Interna	0.246	0.335
Ventilação Natural e Forçada com PCM21 – Camada Interna	**0.861**	**2.287**
Ventilação Natural e Forçada Noturna com PCM21 – Camada Interna	0.699	2.078
4) INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas	**1.070**	**2.727**
5) PCM21 CAMADA INTERNA DE TODAS AS PAREDES - INSUFLADOR NA SALA		
Ventilação Forçada Horário de Aulas com PCM21 – Camada Interna	1.043	2.616

Ao analisar os resultados restritos aos horários de aula (Tabela 4), o caso 4 também apresentou melhores resultados, seguido do caso 5 que possui PCM21 na camada interna (em contato com a sala) em todas as paredes. Portanto, modelo com insuflador nas salas foi o de melhor desempenho independentemente do horário de uso.

Entretanto, as diferenças de temperaturas operativas entre os demais casos que combinam o insuflador na cavidade com o PCM não são significativas, com um RMSE que varia entre 0.246 e 0.861 para o horário de aulas, o que leva a concluir que o emprego de PCM não trouxe benefícios para o desempenho. O uso diurno da ventilação mecânica (insuflador), seja na cavidade ou na sala de aula, promoveu as maiores diferenças com o caso-base.

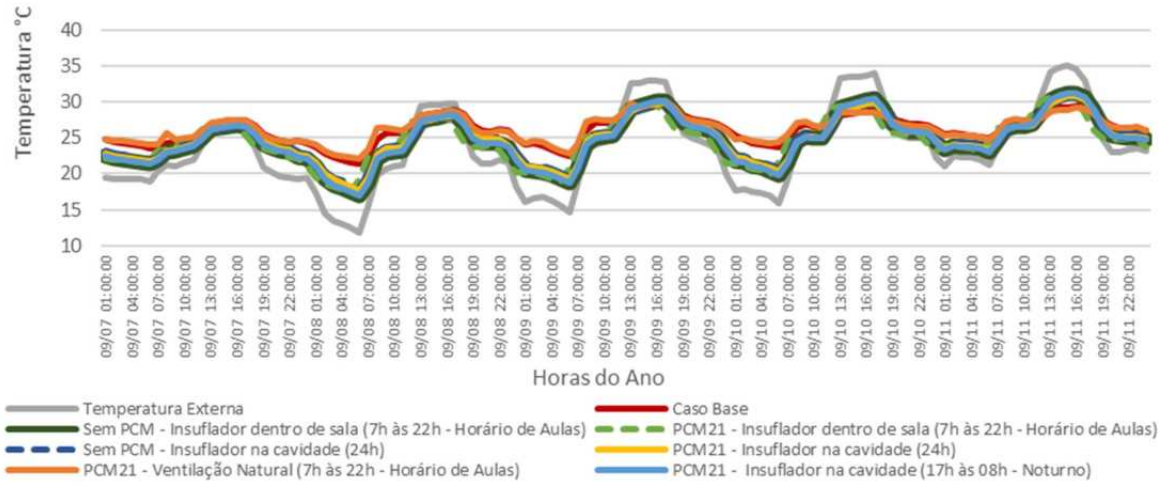
Temperaturas Operativas

Na comparação das temperaturas operativas da sala de aula 305 do último pavimento, que é o caso mais quente observado na edificação, é perceptível a proximidade de temperaturas internas dos casos mais relevantes segundo o RMSE apresentado na Tabela 3 (RMSE≥0,460 e MBE>0,320).

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

O único caso que se destaca mais na Figura 4 é o PCM21 com ventilação natural, apresentando temperaturas mais altas às do próprio caso base na maior parte de horas.

Figura 4: Temperatura externa do ar e temperaturas operativas da sala de aula 3° pavimento - Dia mais quente e quatro dias antes (07 a 11 de setembro)



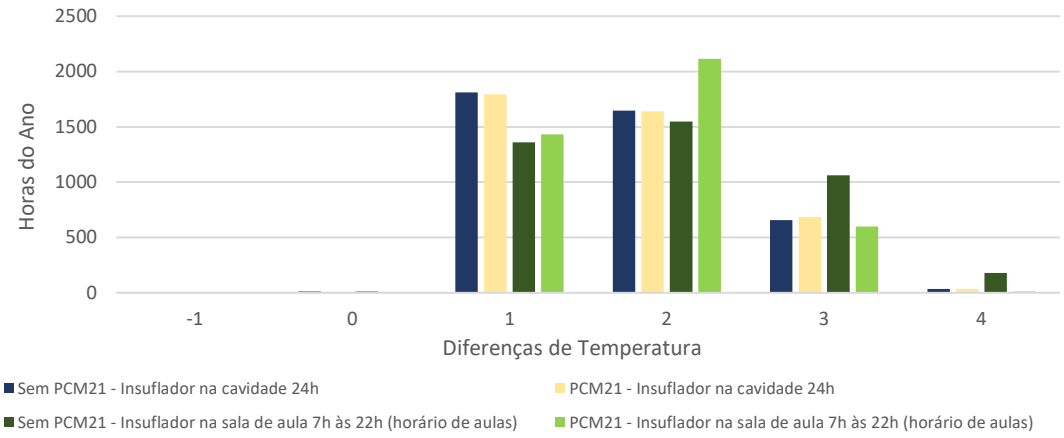
Fonte: As Autoras.

As demais alternativas mantêm uma diferença de temperatura operativa que varia entre -1°C e 4°C em relação ao caso base, embora o insuflador tenha inserido o ar externo quente na sala de aula nos horários de pico de temperatura externa, o que é percebido com clareza nos dias 10 e 11, superando as temperaturas internas do caso base.

Por fim, as diferenças de temperatura resultantes das medidas de conforto térmico geralmente estão agrupadas em 1°C e 2°C menos que o caso base e ocorrem de 55% a 64% dos horários de aula do ano (Figura 5). Já o caso que possui somente insuflador na sala sem PCM apresentou diferenças com o caso base menores de 3°C e 4°C em cerca de 22% das horas de aula do ano, configurando-se como melhor resultado.

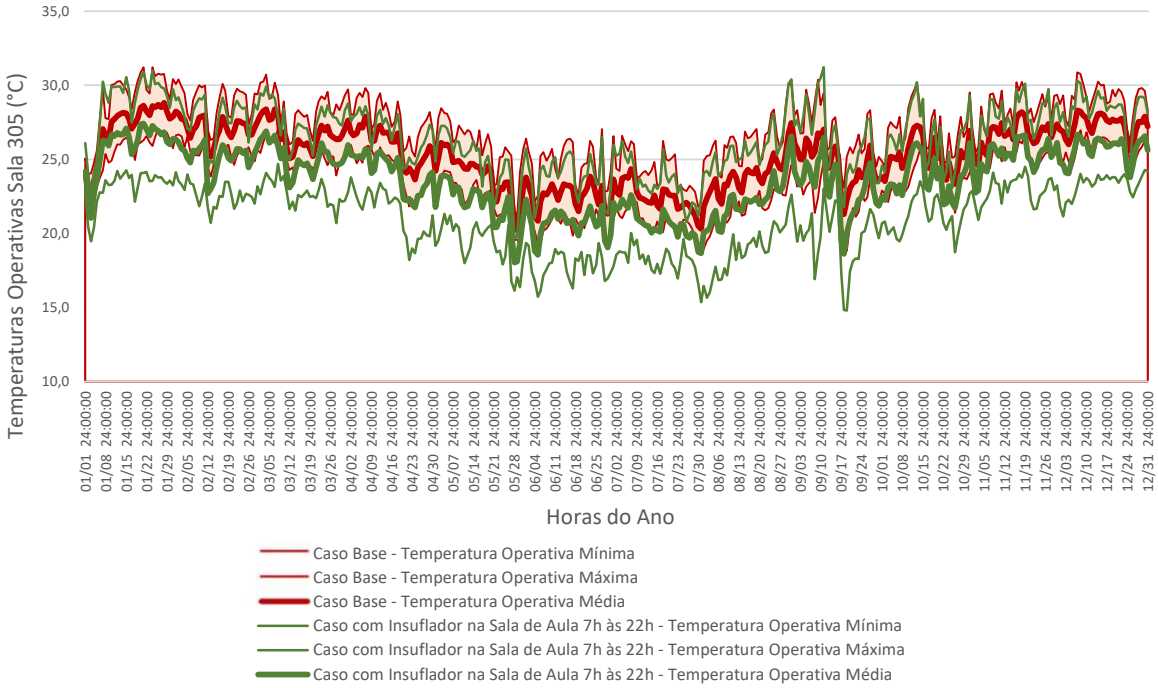
Figura 5: Histograma das diferenças de temperatura operativa: Sala 3° pavimento durante horários de aula (7h às 22h)

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.



Fonte: As Autoras.

Figura 6: Temperaturas operativas mínimas, máximas e médias diárias da sala de aula do 3° pavimento durante o ano



Fonte: As Autoras.

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

Ao comparar as temperaturas operativas mínimas, máximas e médias diárias da sala 305 durante o ano (Figura 6) do caso base com a medida que se mostrou mais eficiente (caso com insuflador na sala de aula de 7h às 22h), percebe-se a redução destas últimas com o uso de insuflador. O intervalo de temperaturas operativas do caso base (hachura rosa claro) se localiza em uma faixa com valores mais elevados (entre 32 °C e 17 °C) que o caso com insuflador na sala (entre 32° e 14°C), ou seja, o último caso apresenta uma amplitude térmica diária maior. Entretanto, vale ressaltar que as temperaturas operativas mais baixas do caso com insuflador ocorrem durante as madrugadas, ou seja, no horário em que que não há ocupação. Já as temperaturas máximas reduziram-se durante o horário de aulas, o que proporciona melhores condições térmicas para os usuários.

Conclusões

A partir da problemática apresentada, buscou-se quantificar a contribuição da estratégia de ventilação natural e mecânica combinadas com a chaminé térmica e com o PCM para melhoria térmica de um modelo de edifício escolar existente para a previsão de clima futuro pelo IPCC em uma cidade da ZB 2M. Os resultados mostraram que fazer uso de ventilação mecânica através de insufladores de ar é uma alternativa promissora para reduzir as temperaturas operativas, variável do conforto térmico, nas salas de aula, com até 4 °C de diferença se comparado ao caso base com características como a edificação é existente. O emprego de PCM também traz contribuições, porém não tão eficientes quanto o emprego dos insufladores de ar.

Além disso, verificou-se que o PCM aliado à ventilação natural não trouxe benefícios suficientes, contribuindo somente quando aliado à ventilação mecânica. Ainda, os resultados mostraram que inserir um insuflador de ar diretamente nas salas de aula traz maiores benefícios do que em uma cavidade ventilada de parede interna para fins de pré-condicionamento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Além disso, o trabalho foi realizado no âmbito do projeto 406426/2022-8 - Tecnologias para Adaptação de Edificações às Mudanças no Clima: Eficiência Energética, Geração Fotovoltaica e Redução de Emissões em Escolas, financiado pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.

Tecnológico. Por fim, também agradecemos o apoio (parcial) do Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento – CYTED (através da Rede TRAPECIO).

Referências */ Referencias / References*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 47 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf. Acesso em: 4 jan. 2025.

GONZALES, T. S. **Integração de estratégias passivas de climatização em escolas no contexto climático de Brasília (DF)**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

HAIHUA, Z.; YANG, D.; TAM, V. W. Y.; TAO, Y.; ZHANG. G.; SETUNGE, S.; SHI, L. A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 141, p. 1-25, fev. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014. 382 p.

OLIVEIRA, M. M. **Investigação da influência dos materiais de mudança de fase no conforto térmico em modelo de escritório nos climas brasileiros**. 2023. 197 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023.

OLIVEIRA, W. C.; CUNHA, E.G.; LEITZKE, R. K. Eficiência energética em prédios de salas de aula naturalmente ventilados. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, São Paulo, v. 11, p. 1-21, ago. 2020.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudança do Clima 2021:** A Base Científica. [S.l.]: IPCC, 2022. Disponível em: IPCC_mudanca2.pdf. Acesso em: 4 jan. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudança do Clima 2023:** Relatório Síntese. [S.l.]: IPCC, 2023.

PEDERSEN, J. S. T.; SANTOS, F. D.; VAN VUUREN, D.; GUPTA, J.; COELHO, R. E.; APARÍCIO, B. A.; SWART, R. An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports. **Global Environmental Change**, [S. l.], v. 66, n. 2, p. 1-14, 2021.

PIELKE JR, R.; BURGESS, M. G.; RITCHIE, J. Plausible 2005–2050 emissions scenarios Project between 2 °C and 3 °C of warming by 2100. **Environmental Research Letters**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 1-8, 2022.

RACKES, A.; FONSECA, R. W.; BECK, E. O.; SCALCO, V. A.; PALLADINI, G. D.; LAMBERTS, R. Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 13., 2015, Campinas. Anais [...]. Campinas: ANTAC, 2015

SOUZA, P. C. **Effect of natural ventilation on airborne disease infection risk in lecture halls**. 2024. 112 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.

[1] Zona bioclimática 1 - Muito fria, Zona bioclimática 3 - Subtropical ou Mista e Zona bioclimática 8 - Quente úmida com alta temperatura e umidade.