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

Projeções futuras: Desempenho térmico de duas envoltórias para uma habitação unifamiliar em São Paulo

Future projections: Thermal performance of two envelopes for a single-family house in São Paulo

Marcela Nettuzzi Faorlin
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | marcela.nettuzzi@grad.ufsc.br
Matheus Körbes Bracht
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | matheus.bracht@posgrad.ufsc.br
Ana Paula Melo
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Roberto Lamberts
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo

Devido às mudanças climáticas, é essencial compreender os impactos do clima futuro nas edificações. Com base no projeto CORDEX, foram adotadas seis projeções de modelos climáticos considerando três períodos (2010, 2050 e 2090), sob dois cenários de emissão distintos: *RCP2.6* (mitigação de emissões) e *RCP8.5* (emissões elevadas). Frente a isso, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento dessas projeções para a cidade de São Paulo, identificando os modelos climáticos extremos. Para isso, realizou-se simulações termo energéticas de uma habitação unifamiliar com duas diferentes envoltórias. Por meio de análises estatísticas, foram constatados desvios maiores nas projeções do *RCP8.5*. Também, notou-se que os arquivos desenvolvidos com o modelo regional *regcm* apresentam temperaturas mais altas que *remo*. Identificou-se a combinação *HadGEM2-regcm como* o modelo extremo quente, enquanto os extremos amenos foram *NorESM1-remo* (*RCP8.5*) e *MPI-ESM remo* (*RCP2.6*). Apesar dos modelos manifestarem comportamento similar em ambas as envoltórias, a edificação com sistema construtivo de concreto apresentou maior carga térmica total, enquanto a de *steel frame* revelou temperaturas operativas máximas maiores.

Palavras-chave: Arquivos climáticos futuros. Mudanças climáticas. Desempenho térmico. Simulação computacional.

Abstract

Due to climate change, it is essential to understand the impacts of future climate on buildings. Based on the CORDEX project, six climate model projections with three meteorological years

Como citar:
FAORLIN, M. N. et. al. Projeções futuras: Desempenho térmico de duas envoltórias para uma habitação unifamiliar em São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

were adopted under two different emission scenarios: RCP2.6 (emission mitigation) and RCP8.5 (high emissions). In light of this, the objective of this work was to analyze the behavior of these projections for the city of São Paulo, identifying the extreme climate models. For this, thermo-energy simulations of a single-family house with two different envelopes were carried out. Through statistical analyses, greater deviations were found in the RCP8.5 projections. It was also noted that the files developed with the regional model regcm show higher temperatures than remo. The combination HadGEM2-regcm was identified as the extreme hot model, while the mild extremes were NorESM1-remo (RCP8.5) and MPI-ESM remo (RCP2.6). Despite the models exhibiting similar behavior in both envelopes, the building with a concrete construction system showed a higher total thermal load, while the steel frame one revealed higher maximum operative temperatures.

Keywords: Future climate files. Climate change. Thermal performance. Computational simulation.

INTRODUÇÃO

O setor da construção causa impactos ambientais, climáticos e energéticos significativos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta um aumento de aproximadamente 1,1 °C na temperatura média do globo no período de 2011-2020, em relação ao período de 1850-1900. Isso é consequência das ações humanas, principalmente pelas emissões de gases de efeito estufa, impulsionando as mudanças climáticas e a ocorrência de eventos climáticos extremos [1]. Desse modo, em uma realidade onde o aquecimento global é alarmante, torna-se fundamental entender o impacto deste em novas construções [2].

Com o propósito de analisar o desempenho térmico das edificações, é comum a utilização de arquivos de anos meteorológicos típicos (*TMY - Typical Meteorological Year*) como dados de entrada para simulações termo energéticas. Contudo, esses dados geralmente são provenientes de medições históricas de períodos de 20 anos atrás [3]. Logo, levando em consideração o agravamento do aquecimento global, pode-se dizer que as edificações estão sendo simuladas e projetadas considerando climas passados. Para aprimorar a resistência das edificações durante todo seu ciclo de vida, é crucial simulá-las para climas futuros, considerando os efeitos das alterações climáticas em diferentes cenários [4].

Dito isto, o *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX) [5] fornece uma base de dados para a aplicação de estudos de modelagem climática. Esses dados baseiam-se em diferentes projeções de modelos climáticos, incluindo diversos Modelos de Circulação Geral (*GCMs*) como modelos direcionadores e Modelos Climáticos Regionais (*RCMs*) aninhados, para os diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa (*RCP*) estabelecidos pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). Os *RCPs* compreendem diferentes caminhos de como a sociedade pode evoluir em relação à concentração de gases de efeito estufa até o período de 2100 [6]. Nesse sentido, o *RCP8.5* é definido como um cenário pessimista, com ausência de políticas climáticas e elevadas emissões, enquanto o *RCP2.6* é determinado por um contexto onde há mitigação rigorosa de emissões, refletindo em um cenário mais otimista com a estabilização do aquecimento global [7]. Os *GCMs* visam reproduzir processos físicos do planeta, estimando variáveis climáticas para

anos futuros [8]. Os *RCMs* aplicados aos *GCMs* alcançam maior resolução espacial e são capazes de fornecer resultados mais alinhados com a topografia da região [9][10].

Recentemente, Bracht et al (2024) [11] desenvolveram arquivos climáticos futuros para as 26 capitais estaduais brasileiras mais o distrito federal com base nos dados do CORDEX, considerando projeções de modelos climáticos baseados em três diferentes *GCMs* (*HadGEM2, NorESM1, MPI-ESM*), com dois *RCMs* (*regcm e remo*) aninhados para os cenários *RCP2.6* e *RCP8.5*, resultando em um conjunto de 12 combinações de arquivos meteorológicos por localidade. Além disso, foram criados anos meteorológicos típicos para as décadas de 2010, 2050 e 2090. Com base nesses arquivos é possível avaliar as incertezas dos resultados de simulações computacionais termo energéticas para as diferentes projeções dos modelos climáticos. Portanto, esse estudo tem como objetivo analisar o comportamento das projeções de climas futuros para simulações termo energéticas de edificações localizadas na cidade de São Paulo. Espera-se identificar os modelos climáticos mais extremos para cada cenário de emissão ao longo de três anos meteorológicos, avaliando também o impacto da mudança de envoltória da edificação.

MÉTODO

A apresentação do método utilizado no trabalho é dividida em quatro etapas principais. A primeira etapa apresenta os arquivos climáticos a serem utilizados. Na segunda etapa são apresentados os casos de simulação, definindo a tipologia da edificação e os sistemas construtivos de envoltória. Em seguida é apresentada descrição do método de simulação termo energético. A última etapa corresponde à apresentação de como serão realizadas as análises estatísticas dos resultados obtidos.

ARQUIVOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS

Como projeções dos climas futuros para cada cenário e período considerado, foram utilizados seis modelos climáticos, os quais são formados por combinações de três GCMs (*HadGEM2*, *NorESM1*, *MPI-ESM*) e dois *RCMs* (*remo* e *regcm*). Estes arquivos climáticos futuros foram desenvolvidos como Typical Metereological Years [12] para os períodos de 2010, 2050 e 2090, nos cenários de emissões *RCP8.5* e *RCP2.6.* Os arquivos utilizados foram desenvolvidos por Bracht et al. [11] e estão disponíveis em [13].

No Quadro 1 é apresentado o local de desenvolvimento de cada modelo climático futuro e sua respectiva referência.

Quadro 1: Informações sobre os modelos climáticos futuros (GCMs e RCMs).

Modelos Climáticos		**Local de desenvolvimento**	**Referências**
GCMs	*HadGEM2*	Met Office, FitzRoy Road, Exeter, Reino Unido.	[14]
	MPI-ESM	Instituto Max Planck de Meteorologia, Hamburgo, Alemanha.	[15]
	NorESM1	Centro de Pesquisa Climática Bjerknes, Bergen, Noruega.	[16]

RCMs	*remo*	Centro de Serviços Climáticos, Hamburgo, Alemanha.	[17][18]
	regcm	Centro Internacional de Física Teórica Abdus Salam, Trieste, Itália.	[19]

Fonte: a autora.

Todos os arquivos climáticos mencionados são da cidade de São Paulo e foram utilizados em formato *EPW* (*EnergyPlus Weather Format*) como dados de entrada para a simulação computacional no programa EnergyPlus. A série histórica utilizada para a correção de viés consiste em dados horários medidos no aeroporto de Congonhas entre os anos de 2001 e 2021.

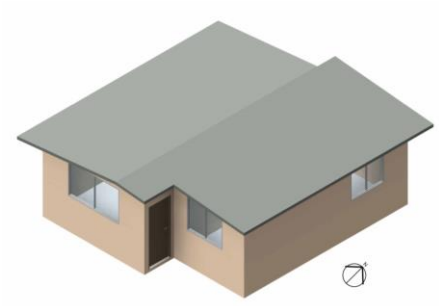
TIPOLOGIA ADOTADA

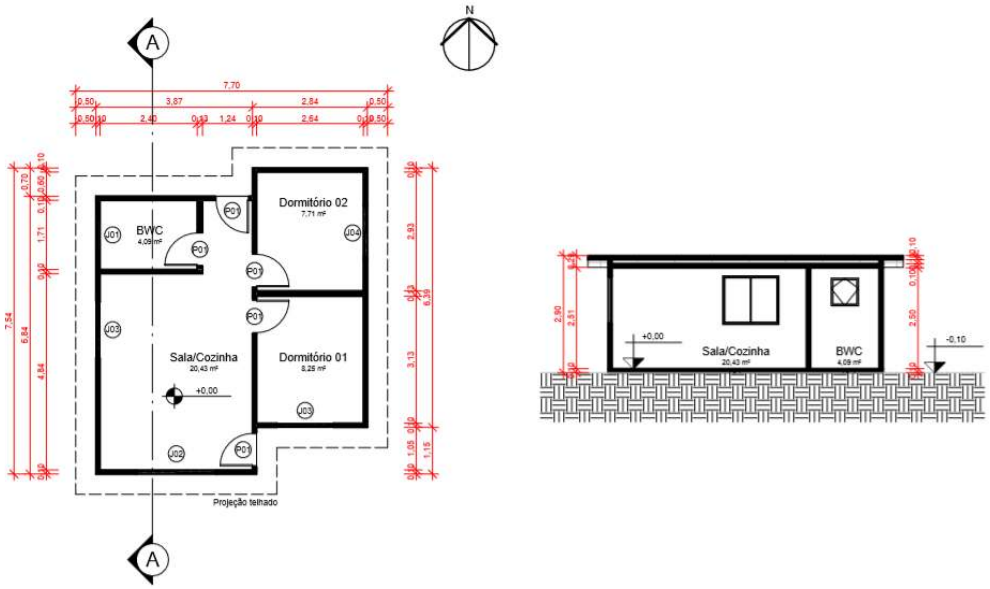
A edificação utilizada como modelo de referência para este estudo consiste em uma residência unifamiliar de interesse social, térrea, com dois dormitórios, sala com cozinha conjugada e um banheiro, totalizando uma área de 40,48 m², com pé direito de 2,50 m.

A janela do banheiro é do tipo "basculante" com fator de abertura para ventilação de 90% e dimensões de 0,60 x 0,60m. Todas as outras janelas são de correr, possuem área de elementos transparentes igual a 17% da área de piso das APP e fator de abertura para ventilação de 45%. Todas as portas são de madeira com espessura de 3cm e do tipo "de abrir". Além disso, não foram considerados elementos de sombreamento (apesar de serem representados beirais de 50 cm no projeto).

Este modelo de referência, representado na Figura 1, foi baseado no trabalho realizado por Triana, Lamberts e Sassi [20] e desenvolvido conforme orientações da NBR 15575:2021 [21]. As especificações das cargas internas de equipamentos e iluminação e padrões de ocupação estão em conformidade com estas orientações.

Figura 1: (a) Representação 3D; (b) Planta baixa; (c) Corte A-A da tipologia considerada.





Fonte: a autora.

ENVOLTÓRIAS

Os casos de simulação foram definidos considerando dois sistemas construtivos de envoltória, apresentados no Quadro 1.

Quadro 2: Composição das envoltórias nos casos estudados.

Elemento	Envoltória 1	Envoltória 2
Paredes internas	Parede de concreto com 10 cm	Placa de gesso acartonado 1,25 cm + Perfil de *steel frame* 90 mm como camada de ar + Placa de gesso acartonado 1,25 cm
Paredes externas	Parede de concreto com 10 cm	Placa de gesso acartonado 1,25 cm + Isolante térmico 70 mm + Placa de gesso acartonado 1,25 cm
Cobertura	Laje de concreto 10 cm + Câmara de ar + Telha fibrocimento 0,6 cm	Forro de gesso + Câmara de ar + Isolante térmico 100 mm (lã de vidro) + Telha CRFS 0,8 cm
Piso	Concreto 10 cm	Concreto 10 cm

Fonte: a autora.

A absortância solar das paredes externas é de 0,58 e, da cobertura, 0,65 e 0,37, para envoltória 1 e 2, respectivamente. As câmaras de ar da cobertura foram consideradas com resistência térmica de 0,21 (m².k)/W, enquanto as da parede com perfil de *steel frame* foram consideradas como 0,17 (m².k)/W. No caso 2, o isolante térmico da parede externa foi considerado com resistência térmica de 1,67 (m².K)/W e o da cobertura com resistência térmica de 2,38 (m².K)/W.

Para ambas as envoltórias, os elementos transparentes nas esquadrias foram considerados de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo modelo de referência da NBR 15575:2021. O fator solar é de 0,87 e a transmitância térmica de 5,70 W/(m².K).

As propriedades térmicas dos materiais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos casos simulados.

Material	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg.K)
Concreto	1,75	2200	1000
Telha fibrocimento	0,65	1700	840
Placa de gesso	0,25	1000	1000
Placa de gesso externa	0,1865	800	1000
Telha CRFS	0,343	1690	840

Fonte: a autora.

MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O método de simulação utilizado foi o estabelecido pela NBR 15575:2021, o qual considera duas condições de uso: com ventilação natural e considerando climatização mecânica. Para a cidade de São Paulo, a condição considerando a climatização mecânica é estabelecida quando as temperaturas operativas excedem o limite de 26°C ou abaixo de 18°C, sendo este o intervalo de referência em que os indicadores de carga térmica são calculados. Vale ressaltar que dentro do intervalo de 18°C e 26°C a residência funciona exclusivamente com ventilação natural. Para o cálculo de temperatura operativa máxima (ToMax) é considerada a maior temperatura operativa anual durante horas ocupadas desconsiderando o uso de climatização mecânica. Nesse sentido, para a análise de resultados, foram utilizados os indicadores de desempenho CgTT (carga térmica total) e ToMax (temperatura operativa anual máxima).

Para a simulação computacional foi adotado o programa EnergyPlus versão 23.2. Foram utilizados os *Outputs* "*Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy*" e "*Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy*" para cálculo da CgTT. Cabe lembrar que o método utilizado simula um sistema de climatização "ideal", mas, em casos reais como de uma HIS, há possibilidade de o sistema possuir uma potência fixa que não atende todas as horas do ano.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A análise dos resultados foi baseada na aplicação de fórmulas estatísticas e comparação dos resultados. Para analisar a uniformidade das projeções, foram utilizados parâmetros de desvio, entre eles: desvio em relação à média, desvio absoluto médio, desvio padrão absoluto e desvio padrão relativo.

As fórmulas estatísticas utilizadas estão representadas a seguir.

$$D_i = x_i - M_A \qquad \text{Equação 1}$$

$$DAM = \frac{\sum|x_i - M_A|}{n} \qquad \text{Equação 2}$$

$$DPA = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M_A)^2}{n}}$$ Equação 3

$$DPR\ (\%) = \frac{DPA}{M_A} \times 100$$ Equação 4

Onde:

D_i é o desvio;

DAM é o desvio absoluto médio;

DPA é o desvio padrão absoluto;

DPR é o desvio padrão relativo expresso em [%];

x_i é o dado analisado;

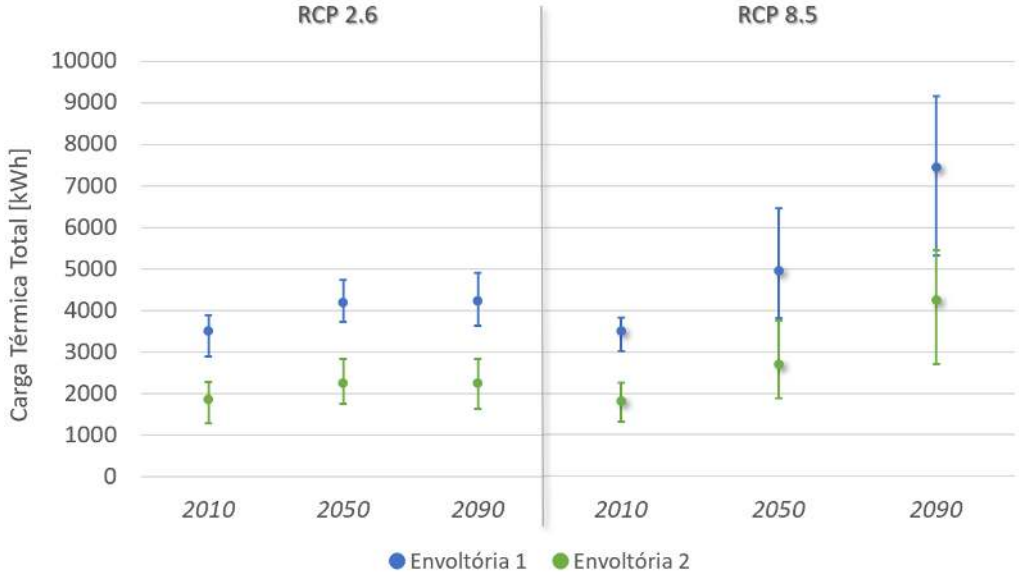
M_A é a média aritmética dos modelos;

n é o número de dados.

RESULTADOS

Levando em consideração os dois cenários de emissões considerados e analisando a variação de carga térmica total ao longo do tempo nas envoltórias analisadas, a Figura 2 demonstra o aumento de carga térmica total no cenário pessimista (*RCP8.5*) e a tendência de estabilização de carga térmica total após 2050 no cenário otimista (*RCP2.6*).

Figura 2: Amplitude de dados de carga térmica total.

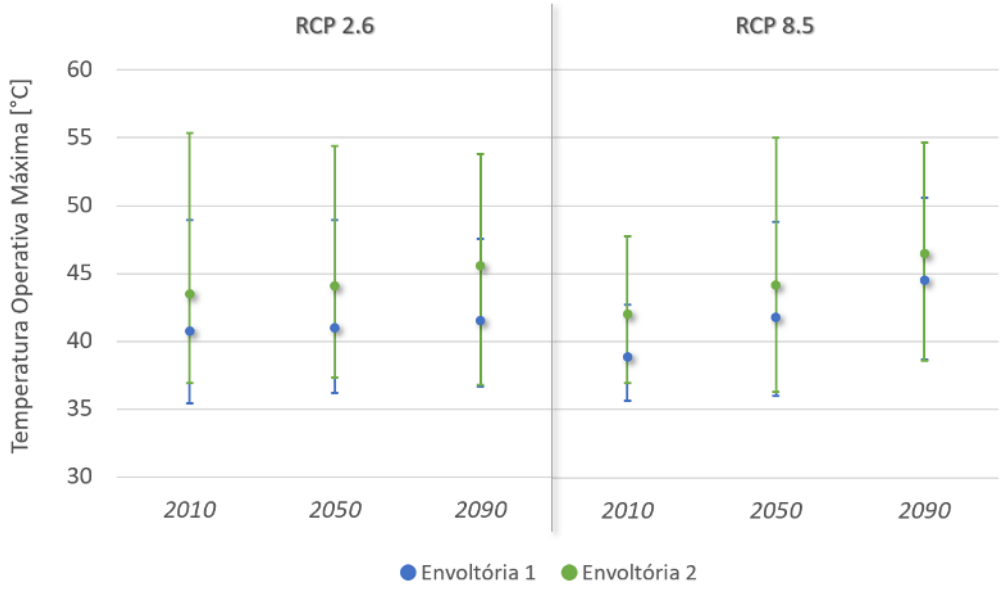


Fonte: a autora.

Ainda, foram encontrados maiores valores de desvio padrão no conjunto de modelos do cenário pessimista (*RCP8.5*), indicando, portanto, uma maior amplitude de dados. Isso significa que as projeções do *RCP2.6* apresentam resultados de carga térmica total mais uniformes, ou seja, os modelos climáticos não se dispersam tanto entre si.

Na Figura 3, é apresentada a amplitude de dados de temperatura operativa anual máxima em ambos os cenários e envoltórias, ao longo dos três anos meteorológicos.

Figura 3: Amplitude de dados de temperatura operativa anual máxima.



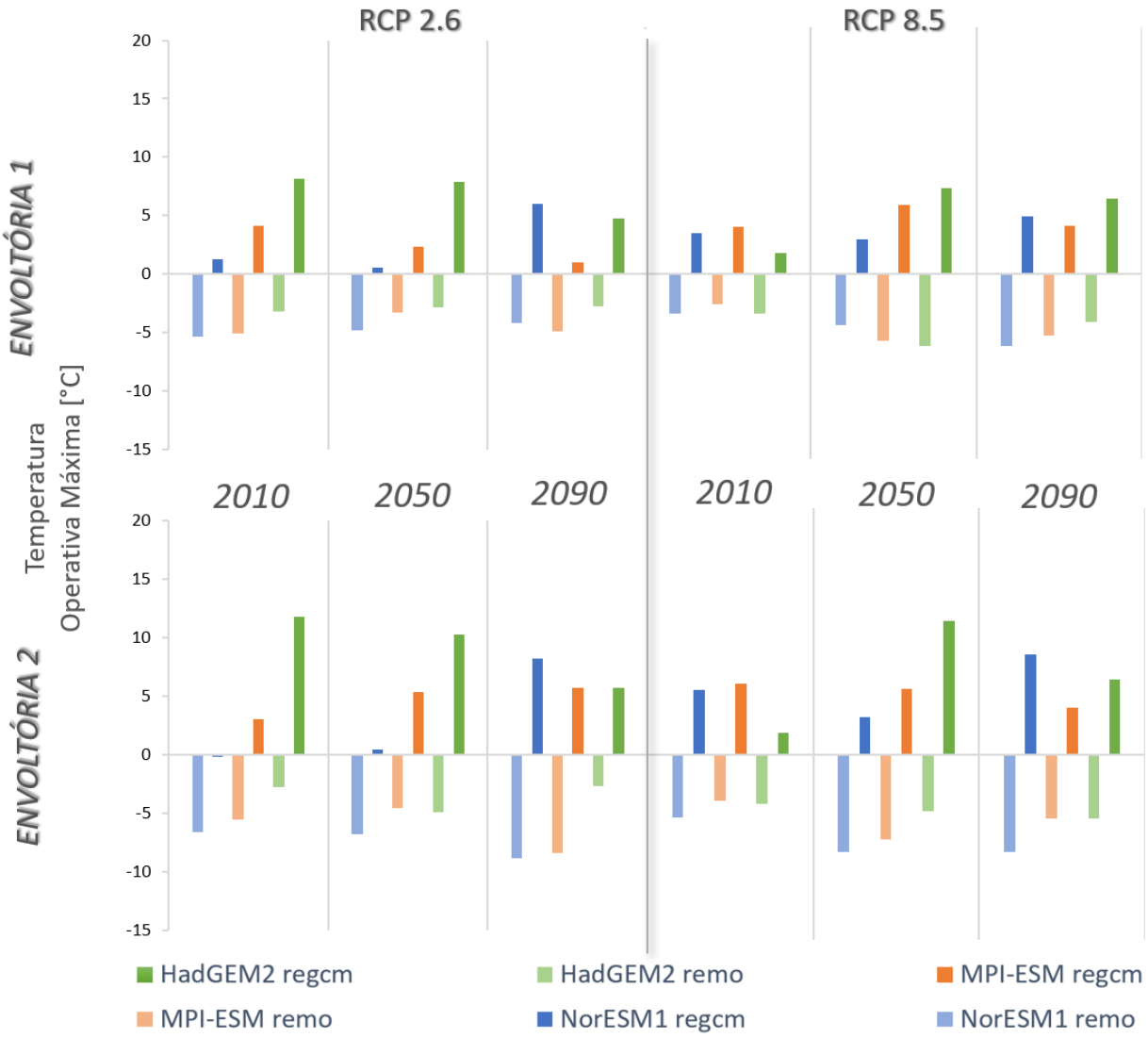
Fonte: a autora.

Analisando a Figura 3, nota-se que a média das temperaturas operativas anuais máximas comparando os dois cenários não são tão diferentes entre si. Isso indica que o dia mais quente do ano em ambos os cenários possuem temperaturas semelhantes, porém, com base na Figura 2, considerando o aumento no consumo de carga térmica total ao longo dos anos no *RCP8.5*, é possível afirmar que esse possui uma maior quantidade de dias quentes em relação ao *RCP2.6*.

Baseando-se nas Figuras 2 e 3, cabe também verificar o desempenho das envoltórias em relação aos climas futuros. Nesse sentido, ao analisar a Figura 2, é notável que a envoltória 1 (paredes de concreto) exibe maiores valores de carga térmica total que a envoltória 2 (paredes de *steel frame*), quando simuladas considerando os mesmos modelos de arquivos climáticos futuros. Ao mesmo tempo, observando a Figura 3, verifica-se que a edificação com sistema construtivo de *steel frame* apresenta temperaturas operativas máximas maiores que a de concreto. Isso significa que com o uso da ventilação natural, a envoltória leve tende a atingir picos de temperaturas maiores, ocasionando condições de calor extremo no interior da edificação. Além disso, sabe-se que o concreto possui maior inércia térmica, logo, o calor absorvido pela edificação é liberado gradualmente para o ambiente interno, provocando um maior consumo de carga térmica para resfriamento do ambiente em situações sem o uso da ventilação natural.

Na Figura 4, são apresentados os desvios em relação à média de temperatura operativa anual máxima dos diferentes modelos climáticos nos três anos meteorológicos (2010, 2050 e 2090) comparando os quatro casos estudados (os dois cenários de emissões combinados com as duas envoltórias).

Figura 4: Desvio dos modelos climáticos em relação à tendência central de temperatura operativa anual máxima.

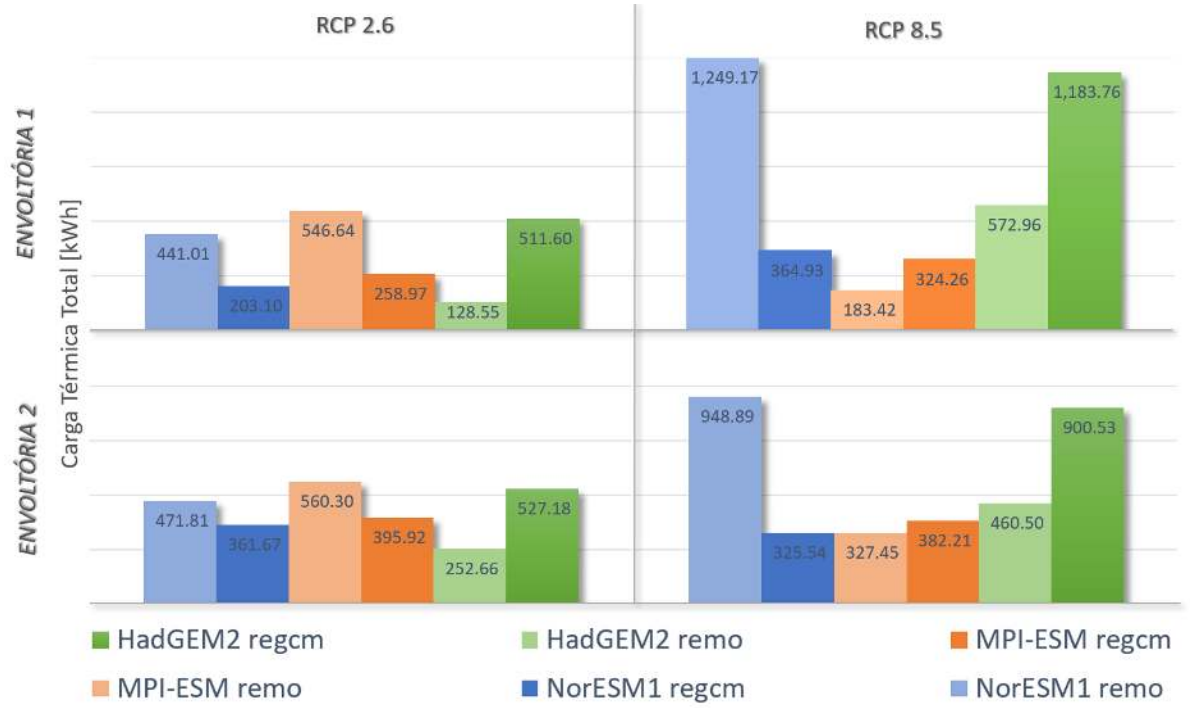


Nota: os GCMs combinados com *regcm* são representados pelos tons escuros enquanto os GCMs combinados com *remo* são representados pelos tons claros. Fonte: a autora.

Ao analisar a Figura 4, notamos que os Modelos de Circulação Geral combinados com o modelo regional *regcm* desviam positivamente enquanto os aninhados com *remo* desviam negativamente, sem exceções. Logo, considerando os RCMs, pode-se afirmar que os resultados de simulação que utilizaram os arquivos climáticos desenvolvidos com *regcm* apresentam temperaturas mais altas que os desenvolvidos com *remo* nos casos analisados neste trabalho. Deste modo, é possível dizer que, em geral, os arquivos climáticos utilizando o RCM *remo* apresentam extremos de temperatura mais amenos para a região de São Paulo.

Na Figura 5, são comparadas as médias de desvio dos modelos climáticos nos três anos meteorológicos (2010, 2050 e 2090) em valores absolutos de carga térmica total, para os quatro casos estudados. Vale ressaltar que o cálculo do desvio absoluto médio (Equação 2) é em módulo, logo, não há sentido positivo e negativo de desvio na Figura 5. Dessa forma, os extremos positivo e negativo foram identificados através dos Modelos Regionais com que estão combinados, baseados na análise anterior (Figura 4).

Figura 5: Desvio Absoluto Médio dos modelos climáticos em relação à tendência central de carga térmica total.



Fonte: a autora.

No cenário *RCP8.5*, é possível identificar as combinações *HadGEM2 regcm* e *NorESM1 remo* como os modelos mais extremos, para ambas as envoltórias. O primeiro extremo, combinado com *regcm*, representa uma projeção de clima quente com altos valores de carga térmica total, enquanto o segundo, combinado com remo, é a projeção de um clima mais ameno. Já no cenário *RCP2.6*, nota-se que o *MPI-ESM remo* passa a ser considerado a combinação de modelos climáticos mais amena, enquanto o *HadGEM2 regcm* se mantém como o extremo mais quente. Nesse sentido, foi observado que os modelos climáticos identificados como extremos mudam de comportamento quando o cenário de emissão é modificado, mas ao alterar a técnica construtiva, seguem o mesmo padrão.

Além disso, é interessante ressaltar que o observado anteriormente (Figura 2) também pode ser observado na Figura 5: o *RCP2.6* possui menores desvios e mais proximidades entre os modelos. Isso explica a pequena margem entre os modelos extremos nesse cenário. Em relação aos outros modelos, não foi possível notar padrões comportamentais, sendo viável considerá-los como intermediários.

CONCLUSÕES

O estudo teve como objetivo entender o comportamento das projeções de climas futuros para a cidade de São Paulo. Com a realização de simulações termo energéticas, foi analisado o desempenho térmico de uma habitação de interesse social unifamiliar térrea considerando seis diferentes projeções de modelos climáticos futuros. O intuito é identificar as combinações de modelos climáticos mais extremos para cada cenário de emissão ao longo de três anos meteorológicos típicos e para duas alternativas de envoltória.

Foi possível observar o aumento de carga térmica total no cenário pessimista (*RCP8.5*) e uma tendência de estabilização de carga térmica total após 2050 no cenário otimista (*RCP2.6*). Ao comparar a amplitude de dados de carga térmica total, notou-se maior dispersão entre os modelos do *RCP8.5*, indicando que as projeções do *RCP2.6* apresentam comportamentos mais uniformes. Ao analisar o desempenho das envoltórias, foi constatado que a edificação de concreto exibe maior carga térmica total enquanto apresenta temperaturas máximas menores que a edificação de *steel frame*. Isso ocorre pelo fato de o concreto possuir maior inércia térmica, influenciando no maior consumo de carga térmica em casos de climatização mecânica. Nesse sentido, é possível concluir que, com o uso somente da ventilação natural, a envoltória 2 considerada pode apresentar condições de calor extremo.

Ao comparar os casos estudados, foram analisados os desvios em relação à média das temperaturas operativas anuais máximas e os desvios absolutos médios em relação à tendência central de carga térmica total, para cada modelo climático futuro. A primeira análise revelou o antagonismo entre os Modelos Climáticos Regionais para cidade de São Paulo, indicando que *regcm* apresenta temperaturas mais altas que *remo*. Em virtude disso, a segunda análise possibilitou a identificação dos modelos mais extremos. Pode-se afirmar que o modelo extremo quente é *HadGEM2-regcm*, enquanto as combinações de modelos extremos amenos são *NorESM1-remo* para o cenário *RCP8.5* e *MPI-ESM remo* para o cenário *RCP2.6*.

É de extrema importância que futuramente sejam realizados outros estudos para aprofundar a compreensão do comportamento dos modelos climáticos futuros, considerando outras tipologias de referência, envoltórias e localizações do Brasil. Tendo em vista o agravamento das mudanças climáticas, tal compreensão é crucial para entender como as edificações reagem às diferentes projeções climáticas, a fim de aprimorar a sua capacidade de resistência ao longo de todo o seu ciclo de vida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Saint-Gobain Research Brasil, CNPq e FINEP pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2023). **AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/. Acesso em: 13 de maio de 2024.

[2] SANTAMOURIS, M; VASILAKOPOULOU, K. Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, v. 1, p. 100002, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002.

[3] CRAWLEY, D; LAWRIE, L. Our climate conditions are already changing – Should we care? **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 42, n. 5, p. 507-516, 2021. DOI: https://doi.org/10.1177/01436244211004427.

[4] P. TOOTKABONI, M.;, BALLARINI, I;., ZINZI, M.; CORRADO, V. (2021). A comparative analysis of different future weather data for building energy performance simulation. **Climate**, 9(2), 1–16. DOI: https://doi.org/10.3390/cli9020037.

[5] F. Giorgi et al., "The CORDEX-CORE EXP-I Initiative: Description and Highlight Results from the Initial Analysis," **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 103, no. 2, pp.E293–E310, Feb. 2022, DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0119.1 .

[6] D. P. Van Vuuren et al., "The representative concentration pathways: an overview," **Climatic Change**, vol. 109, no. 1–2, pp. 5–31, Nov. 2011, DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.

[7] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 1535 pp. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.

[8] EYRING, V., BONY, S., MEEHL, G., SENIOR, C., STEVENS, B., STOUFFER, R., TAYLOR, K., "Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization," Geosci. **Model Dev.**, vol. 9, no. 5, pp. 1937–1958, May 2016, doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016.

[9] RUMMUKAINEN, M., "Added value in regional climate modeling," **WIREs Clim Change**, vol. 7, pp. 145–159, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/wcc.378.

[10] DI LUCA, A.; DE ELÍA, R.; LAPRISE, R. "Potential for small scale added value of RCM's downscaled climate change signal," **Clim Dyn**, vol. 40, no. 3–4, pp. 601–618, Feb. 2013, DOI: https://doi.org/10.1007/s00382-012-1415-z .

[11] BRACHT, M. K., OLINGER, M. S., KRELLING, A. F., GONÇALVES, A. R., MELO, A. P., LAMBERTS, R. "Multiple regional climate model projections to assess building thermal performance in Brazil: Understanding the uncertainty," **Journal of Building Engineering**, v. 88, p. 109248, July 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109248.

[12] ISO, ISO 15927-4: Hygrothermal Performance of Buildings — Calculation and Presentation of Climatic Data — Part 4: Hourly Data for Assessing the Annual Energy Use for Heating and Cooling, 2005.

[13] BRACHT, M. K., OLINGER, M. S., KRELLING, A. F., GONÇALVES, A. R., MELO, A. P., LAMBERTS, R. Brazil - Future weather files for building energy simulation (1.0) [Data set]. 2023. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10015137.

[14] The HadGEM2 Development Team: G. M. Martin, Bellouin, N., Collins, W. J., Culverwell, I. D., Halloran, P. R., Hardiman, S. C., Hinton, T. J., Jones, C. D., McDonald, R. E., McLaren, A. J., O'Connor, F. M., Roberts, M. J., Rodriguez, J. M., Woodward, S., Best, M. J., Brooks, M. E., Brown, A. R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S. H., Dharssi, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J. M., Falloon, P. D., Gedney, N., Gray, L. J., Hewitt, H. T., Hobson, M., Huddleston, M. R., Hughes, J., Ineson, S., Ingram, W. J., James, P. M., Johns, T. C., Johnson, C. E., Jones, A., Jones, C. P., Joshi, M. M., Keen, A. B., Liddicoat, S., Lock, A. P., Maidens, A. V., Manners, J. C., Milton, S. F., Rae, J. G. L., Ridley, J. K., Sellar, A., Senior, C.

A., Totterdell, I. J., Verhoef, A., Vidale, P. L., and Wiltshire, A.: The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations, Geosci. Model Dev., 4, 723–757, 2011. DOI: https://doi.org/10.5194/gmd-4-723-2011

[15] Giorgetta, M. A., et al. (2013), Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, J. Adv. Model. Earth Syst., 5, 572–597, doi:10.1002/jame.20038.

[16] Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J. B., Iversen, T., Kirkevåg, A., Seland, Ø., Drange, H., Roelandt, C., Seierstad, I. A., Hoose, C., and Kristjánsson, J. E.: The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate, Geosci. Model Dev., 6, 687–720, https://doi.org/10.5194/gmd-6-687-2013, 2013.

[17] Jacob, D., Podzun, R. Sensitivity studies with the regional climate model REMO. Meteorl. Atmos. Phys. 63, 119–129 (1997). https://doi.org/10.1007/BF01025368.

[18] Jacob, D.; Elizalde, A.; Haensler, A.; Hagemann, S.; Kumar, P.; Podzun, R.; Rechid, D.; Remedio, A.R.; Saeed, F.; Sieck, K.; et al. Assessing the Transferability of the Regional Climate Model REMO to Different COordinated Regional Climate Downscaling EXperiment (CORDEX) Regions. Atmosphere 2012, 3, 181-199. https://doi.org/10.3390/atmos3010181.

[19] Giorgi F, Coppola E, Solmon F, Mariotti L and others (2012) RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. Clim Res 52:7-29. https://doi.org/10.3354/cr01018.

[20] TRIANA, A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. "Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance." **Energy Policy**, v.87, p. 524–541. 2015. DOI: http://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.