

# DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO NO CLIMA SEMIÁRIDO: um olhar para a residência geminada

*DESEMPEÑO TÉRMICO DE EDIFICACIÓN EN EL CLIMA SEMIÁRIDO: una mirada a viviendas adosadas*

*THERMAL PERFORMANCE OF A BUILDING IN A SEMI-ARID CLIMATE: a look at a row house*

**GOUVEIA, GUSTAVO GREGÓRIO**

Mestre em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal da Paraíba (UFPB), E-mail: guthgr@gmail.com

**LEDER, SOLANGE MARIA**

Doutora em Engenharia Civil – Docente no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), E-mail: solangeleder@yahoo.com.br

**BORNE, IVONETE**

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM)- Universidade Federal da Paraíba (UFPB), E-mail: ivonete.borne@hotmail.com

## RESUMO

Edificações geminadas são recorrentes no semiárido brasileiro. Nessa tipologia, a ausência de recuos laterais reduz a exposição da envoltória à radiação solar, porém limita as possibilidades de ventilação natural nos ambientes internos. Diante disso, este artigo investigou o nível de adequação da tipologia geminada às condições climáticas do semiárido brasileiro por meio da avaliação do desempenho térmico de uma edificação localizada em Juazeiro do Norte, Ceará, e de modelos adaptados da edificação original. A partir de simulações computacionais, o desempenho do modelo calibrado e dos modelos adaptados foi analisado utilizando os índices Percentual de Horas na Faixa de Temperatura Operativa (PHFT) e Temperatura Operativa Máxima (TOM<sub>ax</sub>), além de faixas de temperatura operativa. As simulações permitiram avaliar o impacto de alterações na envoltória, como a inserção de recuos laterais e aberturas, que possibilitaram o ingresso da ventilação natural no interior das edificações. Os resultados apontaram que os modelos com recuos laterais e aberturas apresentaram desempenho térmico superior, e os modelos que utilizaram recuos laterais em ambos os lados apresentaram os melhores resultados de PHFT, embora o aumento no tamanho das aberturas tenha resultado em valores mais elevados de temperatura operativa máxima. Por outro lado, nas condições analisadas o modelo geminado apresentou um desempenho térmico inferior a todos os demais modelos investigados, obtendo a menor porcentagem de horas anuais na faixa de temperatura operativa estabelecida.

**PALAVRAS-CHAVE:** desempenho térmico; edificações geminadas; semiárido brasileiro.

## RESUMEN

Las edificaciones adosadas son recurrentes en el semiárido brasileño. En esta tipología, la ausencia de retiros laterales reduce la exposición de la envoltura a la radiación solar; sin embargo, limita las posibilidades de ventilación natural en los ambientes interiores. Ante ello, este artículo investigó el nivel de adecuación de la tipología adosada a las condiciones climáticas del semiárido brasileño mediante la evaluación del desempeño térmico de una edificación ubicada en Juazeiro do Norte, Ceará, y de modelos adaptados de la edificación original. A partir de simulaciones computacionales, el desempeño del modelo calibrado y de los modelos adaptados fue analizado utilizando los índices Porcentaje de Horas en el Rango de Temperatura Operativa (PHFT) y Temperatura Operativa Máxima (TOM<sub>ax</sub>), además de rangos de temperatura operativa. Las simulaciones permitieron evaluar el impacto de modificaciones en la envoltura, como la incorporación de retiros laterales y aberturas, que posibilitaron el ingreso de ventilación natural al interior de las edificaciones. Los resultados indicaron que los modelos con retranqueos laterales y aberturas presentaron un mejor desempeño térmico, y los modelos que utilizaron retranqueos laterales en ambos lados obtuvieron los mejores resultados de PHFT, aunque el aumento en el tamaño de las aberturas resultó en valores más altos de temperatura operativa máxima. Por otro lado, en las condiciones analizadas el modelo adosado presentó un desempeño térmico inferior a todos los demás modelos investigados, obteniendo el menor porcentaje de horas anuales en el rango de temperatura operativa establecido.

**PALABRAS-CLAVES:** desempeño térmico; edificaciones adosadas; semiárido brasileño.

## ABSTRACT

Row houses are common in the Brazilian semi-arid region. In this typology, the absence of side setbacks reduces the exposure of the building envelope to solar radiation; however, it limits the possibilities for natural ventilation in indoor environments. In light of this, this article investigated the level of suitability of the row house typology to the climatic conditions of the Brazilian semi-arid region by evaluating the thermal performance of a building located in Juazeiro do Norte, Ceará, as well as adapted models of the original building. Based on computational simulations, the performance of the calibrated model and the adapted models was analyzed using the Percentage of Hours within the Operative Temperature Range (PHFT) and Maximum Operative Temperature (TOM<sub>ax</sub>) indices, in addition to operative temperature ranges. The simulations made it possible to assess the impact of modifications to the envelope, such as the introduction of side setbacks and openings, which enabled the entry of natural ventilation into the interior of the buildings. The results showed that models with side setbacks and openings had superior thermal performance, and models with setbacks on both sides achieved the best PHFT results, although increasing the size of the openings resulted in higher maximum operative temperature values. On the other hand, under the analyzed conditions the row house model exhibited the lowest thermal performance among all the investigated models, achieving the lowest percentage of annual hours within the established operative temperature range.

**KEYWORDS:** thermal performance; rowhouses; Brazilian semi-arid.

Recebido em: 01/04/2025

Aceito em: 06/04/2026



REVISTA  
**PROJETAR**

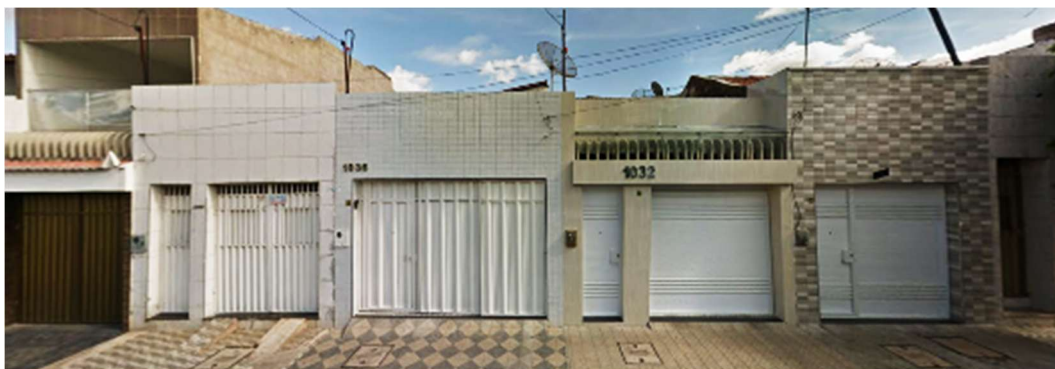
Projeto e Percepção do Ambiente

v.11, n.2, maio de 2026

## 1 INTRODUÇÃO

A região semiárida do Brasil possui uma área de aproximadamente 1,03 milhão de km<sup>2</sup>, equivalente a 12% do território nacional (Sudene, 2021). A proximidade à linha do Equador proporciona à região radiação solar intensa e temperatura elevada durante todo o ano (Zanella, 2014). No geral, ela apresenta clima quente e seco, caracterizado por duas estações: chuvosa e seca - na qual a umidade do ar é baixa e as temperaturas mais elevadas (Romero, 2000). Entre as tipologias arquitetônicas recorrentes no semiárido brasileiro, é possível encontrar um número expressivo de edificações geminadas, que se caracterizam pela ausência de recuos laterais entre as edificações (Figura 1), que são dispostas em lote em formato retangular estreito e alongado, e telhado de duas águas (Santos, 2013). Essa tipologia pode ser encontrada em várias regiões do mundo (Adhikari et al., 2025). No Brasil, ela destaca-se no Nordeste (Martins et al., 2009), sendo associada ao processo histórico de colonização portuguesa. Nesta região, as tipologias de planta mais recorrente ocupam lotes com largura entre 4,5 e 6,7 metros e elevada profundidade. Isso inclui moradias simples, estabelecimentos comerciais organizados em uma sequência longitudinal de até três células ou, ainda, arranjos caracterizados por ambientes maiores na porção frontal e posterior do lote, intercalados por compartimentos menores acessados através de corredor lateral (Palazzo, 2021). No semiárido brasileiro, as habitações geminadas geralmente apresentam a sala de estar voltada para a rua, a sala de jantar e a cozinha localizadas aos fundos, em contato com um quintal, e dormitórios enfileirados e enclausurados no centro da edificação (Nascimento, 2015).

Figura 1: Residências geminadas em Juazeiro do Norte (CE).

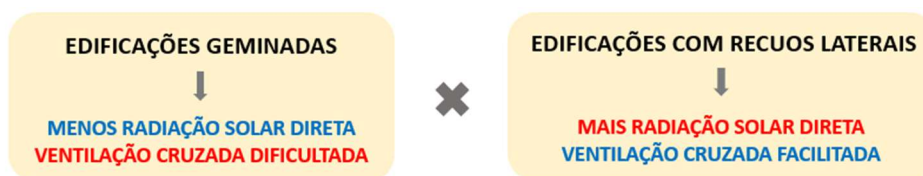


Fonte: Google Street View, 2024.

Em edificações geminadas, a ausência de fachadas laterais reduz a área de envoltória exposta diretamente à radiação solar, limitando-a à fachada frontal, à fachada posterior e à cobertura. Por outro lado, a iluminação e a ventilação natural nos ambientes internos são altamente dependentes das fachadas em contato com o exterior (Donn et al., 2015), reduzir a envoltória pode resultar em ambientes com baixos níveis de iluminação natural e pouca renovação do ar interno (Martins et al., 2009). Em climas quentes, a ventilação natural é uma estratégia econômica e simples de resfriamento (Song et al., 2021; Veiga et al., 2020), no entanto depende de condicionantes como aberturas em paredes opostas, condição limitada em uma edificação geminada (Oliveira, 2013). Logo, embora a ausência de fachadas laterais reduza a área da envoltória exposta à radiação solar direta, a dificuldade para ventilar o interior pode comprometer significativamente o desempenho térmico – benefícios e prejuízos sintetizados na Figura 2.

Em climas onde a amplitude térmica é significativa, o uso da tipologia geminada em tecidos urbanos compactos mostrou-se benéfico ao desempenho térmico das edificações, como no caso do clima frio de Paris (Depecker et al., 2001) e do clima quente e seco do Egito (Asfour e Alshawaf, 2015). Em regiões predominantemente quentes, as estratégias para proporcionar conforto aos usuários se concentram na redução do calor interno. Nos climas quente e úmido e semiárido do Nordeste brasileiro, o desempenho da tipologia geminada revelou-se fortemente associado à aplicação de estratégias de resfriamento passivo na envoltória, especialmente na cobertura das edificações (Pacheco, 2016; Farias, 2019). Em Juazeiro do Norte (CE), cidade onde o presente estudo foi realizado, observou-se que a predominância de construções sem recuos laterais na maior parte da malha urbana resulta em uma alta densidade construtiva (Santos, 2013) o que contribui para a formação de ilhas de calor nos bairros centrais da cidade (Crisóstomo et al., 2019).

Figura 2: Benefícios e prejuízos da presença de recuos laterais ao desempenho térmico.



Fonte: Autor.

Considerando que as edificações geminadas são recorrentes no semiárido brasileiro e que essa tipologia, apesar de estar menos exposta à radiação solar, apresenta limitações na ventilação natural, este artigo investigou o nível de adequação da tipologia geminada às condições climáticas do semiárido brasileiro por meio da avaliação do desempenho térmico de uma edificação localizada em Juazeiro do Norte, Ceará, e de modelos adaptados da edificação original. A partir de simulações computacionais, o desempenho do modelo calibrado (original) e dos modelos adaptados foi analisado utilizando os índices Percentual de Horas na Faixa de Temperatura Operativa (PHFT) e Temperatura Operativa Máxima (T<sub>Omáx</sub>), além de faixas de temperatura operativa. As simulações permitiram avaliar o impacto de alterações na envoltória, como a inserção de recuos laterais e aberturas, que possibilitaram o ingresso da ventilação natural no interior das edificações.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### *Tipologia geminada*

A tipologia geminada é encontrada em diversos territórios e climas ao redor do mundo. No Brasil, sua origem remonta à arquitetura portuguesa, introduzida durante o período colonial, assim, essas edificações podem ser identificadas em diversas regiões do país (Martins et al., 2009, Palazzo, 2021). No semiárido brasileiro, essa tipologia é amplamente observada, e geralmente segue o padrão de possuir um formato alongado, sem recuos laterais e aberturas restritas às fachadas frontal e posterior. Em Juazeiro do Norte (CE), cidade onde foi realizado o presente estudo, as edificações geminadas predominam na maior parte da malha urbana, resultando em bairros de alta densidade construtiva (Santos, 2013).

No que diz respeito ao desempenho ambiental, a tipologia geminada é caracterizada pela ausência de recuos laterais, resultando em espaços com limitado acesso à ventilação e à luz natural. O pé-direito baixo, quando associado a essa tipologia, compromete o conforto térmico interno, pois o ar quente que se eleva permanece próximo às pessoas, além disso, a proximidade com a cobertura aquecida intensifica as trocas de calor, acelerando o aquecimento do ambiente (Martins et al., 2009). A predominância dessas construções contribui para a formação de tecidos urbanos de menor permeabilidade, dificultando a continuidade da ventilação natural externa e impactando diretamente a ventilação no interior das edificações (Monteiro, 2012).

Pacheco (2016) verificou que, para o clima semiárido do Rio Grande do Norte, a tipologia geminada apresentou bom desempenho térmico após a aplicação de estratégias passivas de resfriamento, no entanto, a ausência de estratégias resultou em modelos com desempenho insatisfatório, demonstrando uma grande sensibilidade dessa tipologia às características da envoltória. Para o clima quente e úmido da Tailândia, Takkanon (2006) observou que a orientação solar e a rotina de abertura de esquadrias possuem grande influência nas condições ambientais internas de edificações geminadas. Sadafi et al. (2010) avaliaram o impacto da aplicação de um pátio interno em um modelo calibrado de edificação geminada no clima quente e úmido da Malásia, observando que o incremento da ventilação natural após a aplicação do pátio resultou em uma melhora considerável no desempenho térmico da edificação. Asfour e Alshawaf (2015) verificaram que, para o clima quente e seco do Egito, a tipologia geminada apresentou um consumo energético 28% menor em comparação a outras tipologias no mesmo contexto urbano, destacando que para esse clima, edificações geminadas podem ter uma boa eficiência energética. Farias (2019) avaliou o impacto de alterações na cobertura e pé-direito de uma edificação geminada no clima quente e úmido de Fortaleza (CE), identificando que ao combinar estratégias que envolvem a redução do ganho de calor durante o dia e o resfriamento através da ventilação natural, foi possível obter até 100% das horas ocupadas em conforto.

Costa et al. (2021) realizaram o monitoramento microclimático de tecidos urbanos com diferentes padrões de densidade em Arapiraca (AL), de clima semiárido, incluindo áreas de alta densidade construtiva com predominância de edificações horizontais geminadas. Os resultados indicaram que os tecidos cuja tipologia

arquitetônica mais recorrente foi a geminada apresentaram os valores mais elevados de temperatura em comparação aos demais.

Para o clima de Auckland, Nova Zelândia, Donn et al. (2015) simularam dois modelos distintos de edificações geminadas, com o objetivo de identificar soluções otimizadas para orientação solar e layouts de planta-baixa e fachada dessas edificações. Os resultados indicaram que, no clima investigado, os maiores determinantes para o desempenho dos modelos foram o tamanho, a orientação e a disposição das aberturas das fachadas expostas ao meio externo, enquanto apenas o ajuste na orientação solar não pôde garantir um bom desempenho.

Adhikari et al. (2025) avaliaram a eficiência energética de edificações geminadas em Baltimore, Estados Unidos, através da simulação computacional de modelos calibrados. O estudo identificou que, embora sejam classificadas como a mesma tipologia arquitetônica, as edificações localizadas nas extremidades da quadra e geminadas apenas de um lado apresentaram resultados significativamente diferentes às edificações geminadas em ambos os lados, destacando a necessidade de uma análise separada para cada tipo. Os autores destacam a maior vulnerabilidade das unidades localizadas no fim da quadra ao aquecimento durante o verão, enfatizando a necessidade de incremento da ventilação natural em todos os modelos analisados.

Estudos sobre o desempenho térmico de edificações geminadas em climas diversos ao redor do mundo foram publicados, como por exemplo, para os climas da Alemanha (Tereci, Kesten e Eicker, 2010), Canadá (Stupka e Kennedy, 2010), China (Zou et al., 2023), Estados Unidos (Leigh et al., 2014), França (Depecker et al., 2001), Nova Zelândia (Donn et al., 2015), Reino Unido (Wright e Venskunas, 2022) e Tailândia (Tantasavadi, Arttamart e Inprom, 2023). De acordo com o clima, a tipologia geminada pode ser mais adequada ao período de aquecimento ou de resfriamento da edificação, de modo que a adaptação depende ainda, do conjunto de estratégias utilizadas para ampliar o desempenho térmico.

Mousavi *et al.* (2022) investigou estratégias para construção em clima semiárido, com foco no isolamento térmico e a pintura refletiva em paredes e coberturas aplicados em conjunto com envidraçamento de baixa emissividade (low-E) e dispositivos de sombreamento, tendo concluído que tais táticas possibilitaram ampliar as horas de conforto em até 45%. Por sua vez, ao compararem o desempenho térmico de habitações tradicionais com edificações recentes, Hailu, Gelan e Girma (2021) encontraram melhor desempenho térmico nas edificações tradicionais, com maior conformidade ao modelo adaptativo de conforto. As residências de tipologia recente registraram temperaturas internas mais elevadas, associadas à ventilação insuficiente, ao uso de materiais não locais e ao inadequado aproveitamento do microclima. Assim, os autores ressaltam que, em regiões quentes e áridas, é importante priorizar estratégias como orientação adequada, ventilação natural, escolha de materiais compatíveis com o clima, uso da vegetação e de estratégias passivas de resfriamento.

Além disso, destacamos que as estratégias de projeto devem ser definidas em função do contexto geográfico específico, sendo as ferramentas de simulação energética de edificações comumente empregadas para avaliar o impacto de diferentes condições climáticas no desempenho das edificações.

### **Ferramentas de simulação energética de edificações e critérios de desempenho**

A simulação energética de edificações é uma ferramenta fundamental para a avaliação do desempenho térmico e do consumo energético ainda na fase de projeto, possibilitando a antecipação do comportamento do edifício e subsidiando decisões voltadas à otimização do desempenho ambiental (Silva, 2016; Ebeltagi *et al.*, 2017; Sağdıçoğlu, *et al.*, 2024). A simulação computacional permite modelar diferentes configurações tanto de materiais, quanto de estratégias de projeto, além de possibilitar análises de desempenho térmico, conforto interno e consumo de energia (Mastouri *et al.*, 2017; Lu, Warsinger, 2020; Park *et al.*, 2020). Entre as plataformas disponíveis, o EnergyPlus é um software de simulação energética de edificações desenvolvido pelo U.S. Department of Energy, utilizado para calcular o desempenho térmico e energético de edifícios, incluindo consumo de energia, conforto térmico, ventilação, iluminação e sistemas de climatização, a partir de simulações horárias ao longo do ano (Crawley *et al.*, 1999). Por sua vez, o DesignBuilder é uma interface gráfica que integra a base de cálculo do EnergyPlus, permitindo a criação de modelos tridimensionais de edifícios e a definição de materiais, uso, clima e sistemas de HVAC de forma visual, facilitando a realização das simulações sem a necessidade de operar diretamente o EnergyPlus (Ayad, 2022; Yaman, 2025).

Dentre os critérios de análise mais utilizados, a norma NBR 15.575:2001 estabelece vários índices que permitem a avaliação do desempenho térmico de edifícios, como o percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa da unidade habitacional considerada confortável (PHFTUH) e as suas temperaturas operativas máxima e mínima (TOMáxUH e TOMínUH). A faixa de temperatura operativa considerada confortável deve ser estabelecida de acordo com a média anual da temperatura externa de bulbo seco do

município, considerando-se três possíveis intervalos (Tabela 1). O cálculo do PHFT é realizado separadamente para cada ambiente de permanência prolongada (APP), e a média dos resultados obtidos é usada para determinar o percentual relativo à unidade habitacional como um todo (PHFTUH) (Quadro 1).

Tabela 1: Intervalos de temperaturas externas e faixas de temperatura a ser consideradas.

Intervalos de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS) °C	Faixa de Temperatura Operativa a ser considerada
Intervalo 1	TBSm < 25°C	18°C < TOapp < 26°C
Intervalo 2	25°C ≤ TBSm < 27°C	TOapp < 28°C
Intervalo 3	TBSm ≥ 27°C	TOapp < 30°C

Fonte: ABNT, 2021.

Quadro 1: Índices da NBR 15.575:2021 utilizados neste estudo.

VARIÁVEL	UNIDADE	DEFINIÇÃO
PHFTUH	%	Percentual de horas de ocupação da Unidade Habitacional dentro de uma faixa de temperatura operativa, considerando todos os APPs avaliados, sendo a razão entre as horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa estabelecida e o total de horas de ocupação do APP;
TOmáxUH	°C	Temperatura operativa máxima da Unidade Habitacional, considerando todos os APPs avaliados, durante o seu período de ocupação;

Fonte: ABNT, 2021.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, o primeiro passo foi a escolha a residência a investigar. O tipo geminado é predominante em diversos bairros de Juazeiro do Norte, segundo Santos (2013) o formato “estreito e longo” das residências geminadas da região segue a forma dos lotes, com fachada frontal estreita e grande extensão longitudinal. A edificação foi selecionada por meio de amostragem por conveniência, critério comum em estudos de caso, sobretudo quando há restrições de acesso, tempo e recurso. Assim, a edificação analisada foi selecionada com base em critérios de viabilidade do estudo e representatividade tipológica, considerando sua desocupação em determinados períodos do ano, o que possibilitou a realização do monitoramento sem interferência da ocupação, além da autorização do proprietário para acesso contínuo às dependências. Adicionalmente, o imóvel localiza-se em uma área da cidade caracterizada pela predominância de edificações geminadas. Após a definição do objeto de estudo, foi realizado o seu levantamento arquitetônico e o monitoramento de dados climáticos no interior de um dos ambientes. Posteriormente, o modelo virtual foi construído e calibrado, dando origem ao modelo base. As etapas seguintes envolvem a elaboração dos modelos adaptados do modelo base, a execução das simulações de desempenho térmico e o processamento e análise dos resultados. Por fim, os modelos foram classificados conforme o seu desempenho térmico, o que possibilitou a formulação de conclusões e considerações finais sobre os dados obtidos.

#### Caracterização e monitoramento do objeto de estudo

Localizada a 407 m acima do nível do mar, Juazeiro do Norte possui clima As - segundo classificação climática de Köppen (Kottek et al., 2006), mapeada na faixa que define a região do Agreste (semiárido), entre os estados do Rio Grande do Norte e da Bahia (Alvares et al., 2013). A cidade não dispõe de estação meteorológica própria do INMET. Assim, para as simulações computacionais, foram utilizados dados do arquivo climático do município de Barbalha - CE (INMET, 2011), estação meteorológica mais próxima da área de estudo. O arquivo climático contém dados horários de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, radiação solar global, velocidade e direção de ventos, utilizados como parâmetros de entrada para análise no software EnergyPlus.

De acordo com dados anuais do INMET (2011) Barbalha (CE), apresenta condições climáticas típicas do semiárido quente, com temperatura média anual de 25,5°C e máximas superiores a 31°C. Observa-se ainda amplitude térmica diária média de aproximadamente 10°C, indicando variações significativas entre o período diurno e noturno (Tabela 2).

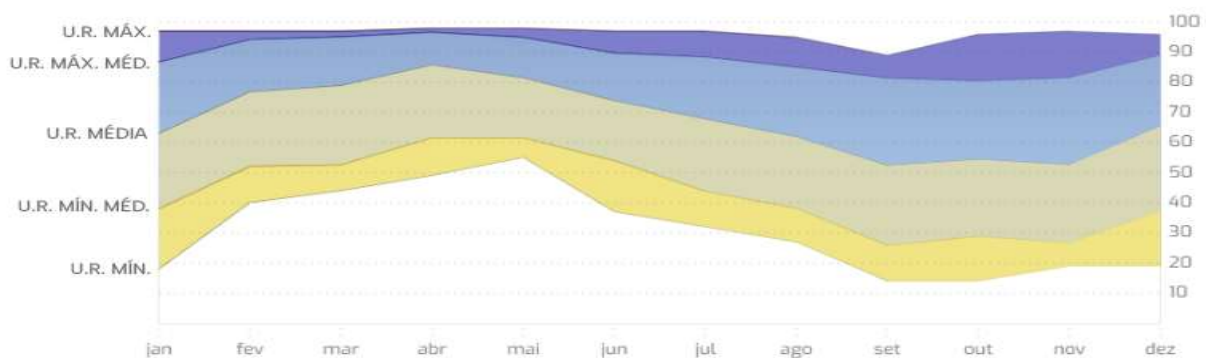
Tabela 2: Dados anuais de temperatura e umidade relativa para o município de Barbalha.

Variável	Valor
Temperatura Bulbo Seco máx. absoluta (°C)	36.2
TBS máx. média (°C)	31.1
TBS mín. absoluta (°C)	16.1
TBS mín. média (°C)	21.1
TBS média (°C)	25.5
Amplitude diária média (°C)	10
Amplitude diária máxima absoluta (°C)	18.1
Amplitude diária máxima média (°C)	13.3
Umidade Relativa máx. absoluta (%)	98
Umidade Relativa máx. média (%)	96.1
Umidade Relativa mín. absoluta (%)	14
Umidade Relativa mín. média (%)	43.4
Umidade Relativa média (%)	63.3

Fonte: Elaborado pelos autores com base no arquivo climático do município de Barbalha (INMET, 2011).

O Gráfico 1 evidencia que, entre os meses de setembro e novembro, ocorrem as maiores temperaturas, correspondentes ao período da estação seca. Nos meses de junho e julho, por sua vez, registram-se temperaturas relativamente mais amenas. Contudo, observa-se que as temperaturas médias permanecem elevadas ao longo de todo o ano.

Gráfico 1: Umidade Relativa anual do município de Barbalha (CE).



Fonte: Elaborado pelos autores com base no arquivo climático do município de Barbalha (INMET, 2011).

A residência selecionada para o estudo possui 4,90 metros de largura por 16,30 metros de comprimento, com fachada em cinza claro e esquadrias de alumínio na mesma cor, sem afastamento lateral em relação às edificações vizinhas. A residência possui um quintal localizado na porção posterior do lote, e em seu interior há apenas um dormitório, entre a sala de entrada e a sala de jantar/cozinha. Os ambientes internos não possuem portas, com exceção do banheiro, facilitando a circulação do ar. Todos os ambientes possuem forro de gesso, com ausência de ventilação através da cobertura. O contato com o meio externo da edificação ocorre apenas através das esquadrias localizadas nas fachadas frontal e posterior (Figuras 3 e 4).

O monitoramento in loco da edificação constitui etapa fundamental para a calibração do modelo de simulação térmica. Para sua fundamentação metodológica, adotaram-se como referência os estudos de Asadi et al. (2016) e Mahar et al. (2019), que evidenciam a importância da integração entre medições de campo e modelagem computacional para reduzir incertezas e aumentar a confiabilidade preditiva dos modelos. A

calibração foi realizada com base na Guideline 14 da ASHRAE (2002), a fim de verificar a concordância entre os dados simulados e medidos.

Parte-se do pressuposto de que o monitoramento realizado em um ambiente representativo da residência, em um ou dois períodos do ano, permite extrapolações quanto ao comportamento térmico da edificação ao longo do ano (Asadi et al., 2016; Mahar et al., 2019). Assim, as variáveis temperatura do ar (°C), temperatura de globo (°C), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa (%) foram monitoradas no dormitório da unidade habitacional investigada, entre as 13:00 do dia 26/01/2022, até o fim do dia 07/02/2022, resultando em doze dias de monitoramento. O equipamento utilizado para o monitoramento foi o SENSU, desenvolvido e calibrado no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina. Integrante do acervo do Laboratório de Conforto da Universidade Federal da Paraíba (LabCon/UFPB), o SENSU é composto por sensores de temperatura do ar, velocidade do ar, umidade do ar e temperatura de globo. Os dados são registrados e armazenados em intervalos de 1, 5 ou 10 minutos.

Figura 3: Fachada frontal da residência em estudo.



Fonte: Google Street View, 2024.

Figura 4: Planta-baixa da residência em estudo.



Fonte: Autor.

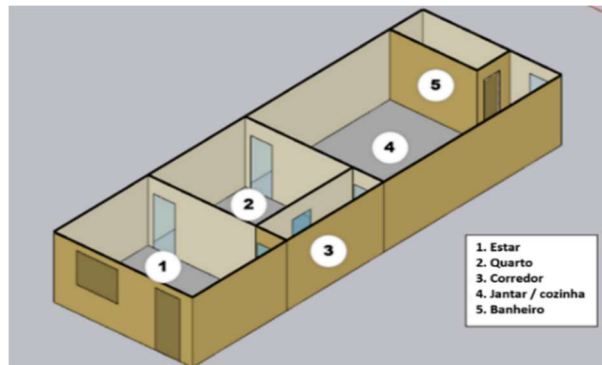
### **Desenvolvimento do modelo base**

Neste estudo, foram executadas simulações computacionais de desempenho térmico utilizando o software EnergyPlus (versão 2.14c). O modelo foi construído de acordo com o levantamento arquitetônico da residência, com o auxílio do software SketchUp 2023 integrado ao plug-in OpenStudio (versão 1.6). Foram atribuídas zonas térmicas referentes aos ambientes internos da residência: sala de estar, dormitório, corredor, sala de jantar/cozinha e banheiro (Figura 5). Por ser uma edificação geminada, foram modeladas também as edificações vizinhas, permitindo a consideração das trocas de calor entre as edificações através das paredes divisórias. Entretanto, não foi possível realizar o levantamento arquitetônico das demais edificações, sendo cada uma considerada no modelo como uma zona térmica sem divisões internas.

Considerando a presença de forro nos ambientes internos da edificação, os áticos da edificação principal e das edificações laterais foram modelados como zonas térmicas independentes, permitindo que a câmara de ar presente entre o telhado e o forro fosse incorporada aos cálculos da simulação. No telhado, a sobreposição de uma telha sobre a outra cria câmaras de sombreamento que correspondem a 70% da área de telhados do

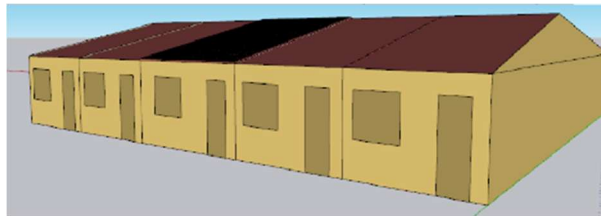
tipo colonial (Farias, 2019), sendo essa proporção considerada na elaboração do modelo (Figuras 6 e 7). Através de consultas à literatura e de acordo com observações feitas na residência, foram definidos os parâmetros de entrada inseridos no modelo.

Figura 5: Zonas térmicas do modelo.



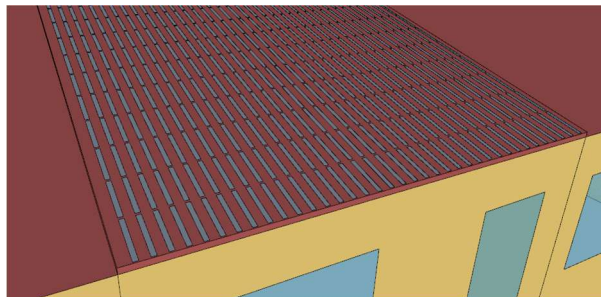
Fonte: Autor.

Figura 6: Geometria do modelo da residência em estudo (centro) e edificações vizinhas.



Fonte: Autor.

Figura 7: Detalhe de modelagem da câmara de sombreamento criada pela sobreposição das telhas.



Fonte: Autor.

As paredes da edificação são construídas em tijolo, revestidas com argamassa pintada; para configuração do modelo considerou-se o uso de tijolo furado, bastante comum na região. A cobertura é de duas águas, com telhado cerâmico colonial e forro de gesso nos ambientes internos (Tabela 3). Após a definição do modelo base inicial, foi realizada a sua calibração, processo que envolveu o ajuste sucessivo de parâmetros de entrada e a realização de simulações teste, com o objetivo de aproximar os resultados da simulação do modelo base inicial aos dados microclimáticos coletados no interior da residência (Gouveia, Leder, 2025).

A calibração do modelo foi conduzida com base em metodologias recentes aplicadas à simulação de desempenho térmico (Bertagnolio, Lemort, Andre, 2010; Fabrizio, Monetti, 2015; Ruiz, Bandera, 2017; Barbosa, Ghisi, 2017; Araújo, Scalco, Batista, 2020; Pagel *et al.*, 2022). Considerando o objetivo de avaliar a aderência entre os valores simulados e os dados medidos, bem como a capacidade preditiva do modelo, foram adotados como critérios estatísticos os índices NMBE e CVRMSE e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme recomendado pela ASHRAE Guideline 14:2002 (ASHRAE, 2002).

Tabela 3: Propriedades termofísicas dos materiais da envoltória aplicadas no modelo base da edificação em estudo.

Material	Espessura (m)	Absortância	Emissividade	Condutividade (W/mK)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/KgK)	Resistência térmica total (m <sup>2</sup> K/W)
<b>COBERTA</b>							
Telha cerâmica	0,01	0,75	0,85	0,90	1400	920	0,22
Câmara de ar	-	-	-	-	-	-	0,21
Forro de gesso	0,03	0,20	0,90	0,35	800	840	0,23
<b>PAREDES</b>							
Reboco pintado (cinza)	0,025	0,40	0,85	1,15	2000	1000	0,22
Tijolo cerâmico maciço	0,09	0,70	0,85	1,00	1600	920	0,26
Reboco pintado (amarelo)	0,025	0,30	0,85	1,15	2000	1000	0,22
<b>PISO</b>							
Laje de concreto (piso)	0,10	0,70	0,90	1,75	2200	1000	0,23
Contrapiso	0,02	0,70	0,85	1,15	2000	1000	0,23
Revestimento cerâmico	0,0075	0,35	0,85	1,15	1800	920	0,22
<b>ESQUADRIAS</b>							
Porta metálica	0,03	0,20	0,90	230	2700	880	-
Janela metálica	0,03	0,20	0,90	230	2700	880	-

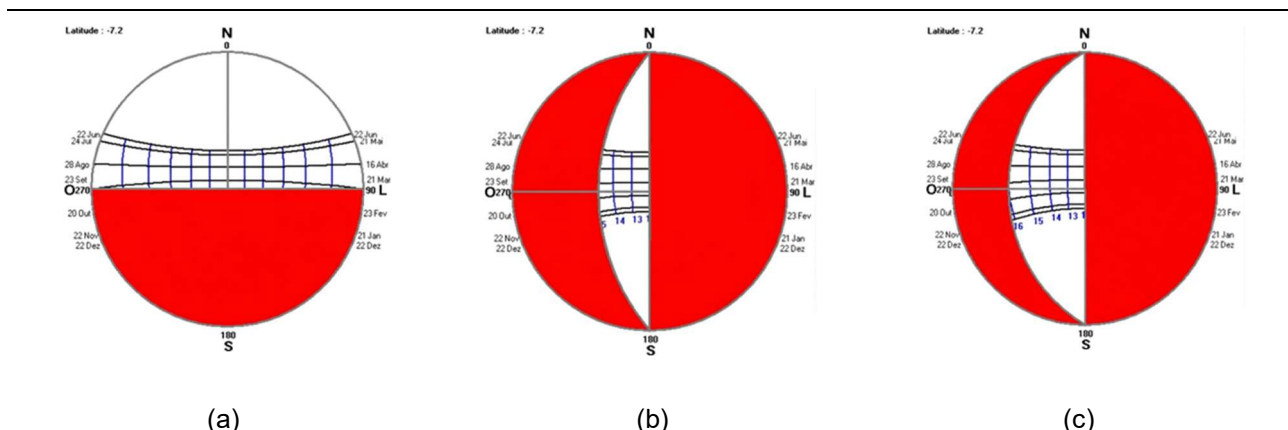
Fonte: Autor, com base em Weber et al. (2017) e ABNT (2005).

### Modelos adaptados – elaboração e análise

Após ser considerado calibrado, o modelo pode ser alterado em diversos aspectos, o que permite a avaliar o seu desempenho térmico em diferentes cenários, como a implementação de recuos laterais e aberturas, que possibilitam uma ventilação natural mais eficiente no interior de edificações geminadas, mas também pode elevar os ganhos de calor através da radiação solar direta. O modelo base, geminado, foi adaptado e deu origem a modelos com recuos em ambos os lados, recuos apenas no lado esquerdo ou apenas do lado direito, considerando duas larguras de espaçamento entre as edificações, de 1,5 e 3 metros.

A Figura 8 apresenta máscaras de sombra representativas da insolação nas orientações Norte e Oeste. As áreas em vermelho indicam porções do céu obstruídas pelas edificações vizinhas (sombreamento), enquanto as áreas em branco representam céu visível. Na fachada Norte à exposição solar ocorre de março a setembro.

Figura 8: Máscara de sombra na orientação Norte (a) e Oeste - afastamento lateral 1,5 m (b) e 3,0 m (c).



Fonte: Autor.

Note-se que a fachada Oeste recebe sol ao longo de todo o ano a partir de 12h, considerando o espelhamento, é possível inferir que a fachada Leste recebe sol ao longo de todo o ano até 12h. O afastamento impacta a

insolação nas fachadas Oeste e Leste, com afastamento de 1,5 metros a insolação ao longo do ano é em torno de 3 horas, o modelo com afastamento de 3 metros, recebe insolação em torno de 4h.

As dimensões das aberturas dos modelos adaptados foram definidas de acordo com as recomendações da NBR 15.220 (ABNT, 2005), na qual são indicadas porcentagens de área para aberturas pequenas, médias ou grandes do ambiente, de acordo com a sua área do piso (Tabela 4). Optou-se por essa normativa por apresentar diretrizes relacionadas às estratégias bioclimáticas e à ventilação natural, o que possibilita maior flexibilidade na análise comparativa de soluções passivas e maior alinhamento com os objetivos do estudo, aspecto entendido como fundamental para a avaliação do impacto das alterações na envoltória adotadas nesta pesquisa.

Tabela 4: Aberturas para ventilação de acordo com a área de piso.

Aberturas	A (em % da área de piso)
Pequenas	10% < A < 15%
Médias	15% < A < 25%
Grandes	A > 40%

Fonte: ABNT, 2005.

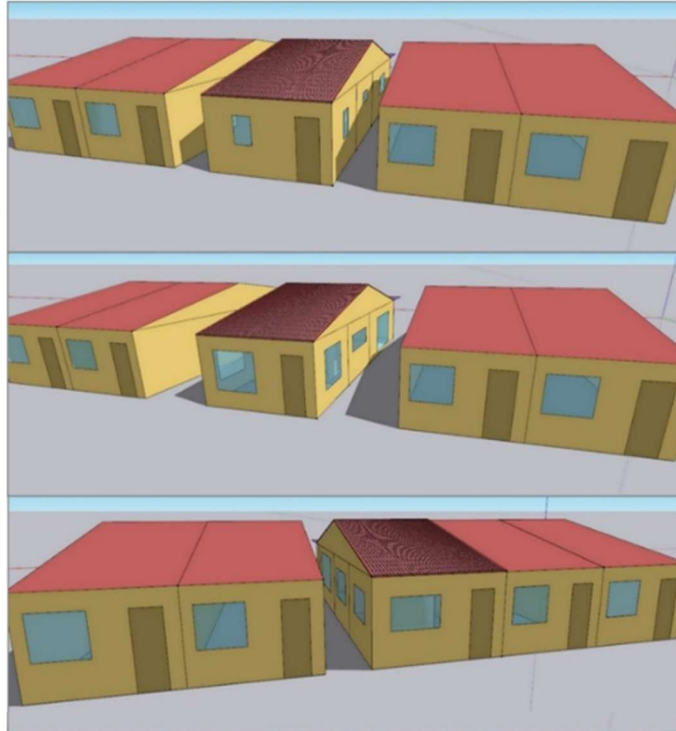
As esquadrias foram consideradas abertas sempre que ocorreu ocupação nos ambientes, sendo uma adaptação da rotina de ocupação sugerida pela NBR 15.575 (2021). No total, dezoito modelos foram simulados, considerando seis diferentes configurações de recuos laterais (R1 a R6) e três tamanhos de aberturas para cada tipo de recuo utilizado (P, M e G) (Tabela 5). A Figura 9 apresenta como exemplo a geometria dos modelos R1-P, R2-G e R5-G, sendo possível observar as distintas configurações de recuos laterais e tamanhos das aberturas.

Tabela 5: Descrição dos modelos adaptados desenvolvidos no estudo.

Tipo de recuo	Descrição	Largura recuo	Tamanho das aberturas	Modelo
<b>R1</b>	Recuos laterais em ambos os lados	1,5m	Pequena	<b>R1-P</b>
<b>R1</b>	Recuos laterais em ambos os lados	1,5m	Média	<b>R1-M</b>
<b>R1</b>	Recuos laterais em ambos os lados	1,5m	Grande	<b>R1-G</b>
<b>R2</b>	Recuos laterais em ambos os lados	3m	Pequena	<b>R2-P</b>
<b>R2</b>	Recuos laterais em ambos os lados	3m	Média	<b>R2-M</b>
<b>R2</b>	Recuos laterais em ambos os lados	3m	Grande	<b>R2-G</b>
<b>R3</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	1,5m	Pequena	<b>R3-P</b>
<b>R3</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	1,5m	Média	<b>R3-M</b>
<b>R3</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	1,5m	Grande	<b>R3-G</b>
<b>R4</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	3m	Pequena	<b>R4-P</b>
<b>R4</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	3m	Média	<b>R4-M</b>
<b>R4</b>	Recuo lateral no lado esquerdo	3m	Grande	<b>R4-G</b>
<b>R5</b>	Recuo lateral no lado direito	1,5m	Pequena	<b>R5-P</b>
<b>R5</b>	Recuo lateral no lado direito	1,5m	Média	<b>R5-M</b>
<b>R5</b>	Recuo lateral no lado direito	1,5m	Grande	<b>R5-G</b>
<b>R6</b>	Recuo lateral no lado direito	3m	Pequena	<b>R6-P</b>
<b>R6</b>	Recuo lateral no lado direito	3m	Média	<b>R6-M</b>
<b>R6</b>	Recuo lateral no lado direito	3m	Grande	<b>R6-G</b>
<b>TOTAL = 18 MODELOS</b>				

Fonte: Autor.

Figura 9: Geometria dos modelos R1-P, R2-G e R5-G.



Fonte: Autor.

### Análise e apresentação dos resultados

As simulações permitiram a obtenção de dados horários de temperatura operativa dos ambientes de cada modelo adaptado em que ocorre permanência prolongada: a sala de estar, o dormitório e a sala de jantar/cozinha. Com base nessas informações, foram calculados os Percentuais de Horas na Faixa de Temperatura Operativa (PHFT) e as Temperaturas Operativas Máximas (TOMáx) dos ambientes analisados, índices presentes na NBR 15.575:2021 (ABNT, 2021). Embora a norma indique que sejam consideradas apenas as horas em que o ambiente está ocupado no cálculo do PHFT, esse estudo considerou todas as horas do ano no cálculo.

De acordo com a norma, as temperaturas operativas abaixo de 28°C são consideradas dentro da faixa de conforto no município onde localiza-se a residência em estudo, não havendo uma faixa para o desconforto por frio. A obtenção do PHFT de cada ambiente analisado permite o cálculo do índice referente à unidade habitacional, facilitando a análise comparativa entre os modelos, que foram classificados de acordo com o desempenho obtido. A Temperatura Operativa Máxima (TOMáx) anual também foi aferida, contribuindo para a análise descritiva do desempenho dos modelos.

Embora o índice PHFTUH, conforme sugerido pela norma, avalie se a edificação está dentro da faixa de temperatura confortável, não há distinção entre situações de frio ou calor nem a consideração de valores extremos. Considerando que o clima local pode atingir temperaturas muito elevadas durante a estação seca, decidiu-se adotar uma classificação para a quantidade de horas de temperatura operativa do ambiente dentro de faixas específicas (conforme Figura 10), as quais variam 4°C a partir da temperatura base de conforto do município (28°C), assim tem-se: conforto (entre 24° e 28°C), ameno (abaixo de 24° e acima de 20°C), frio (abaixo de 20°C), quente (acima de 28° e abaixo de 32°C), e muito quente (acima de 32°C).

Figura 10: Faixas de temperatura operativa elaboradas para avaliação dos modelos.



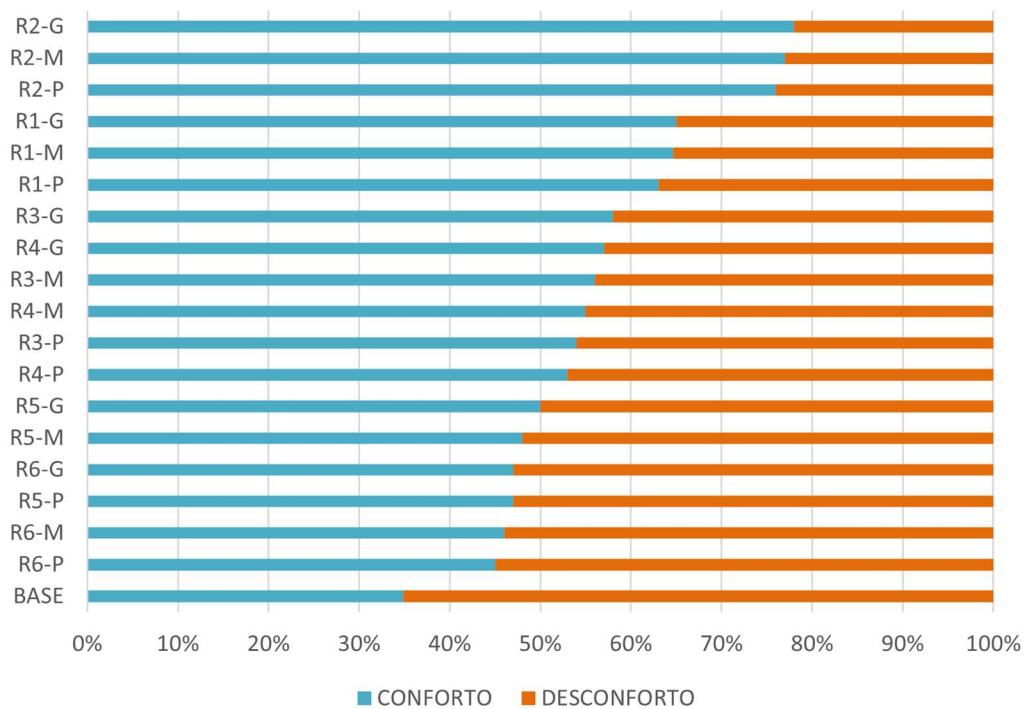
Fonte: Autor.

## 4 RESULTADOS

Os resultados indicaram que os modelos com recuos laterais duplos (R1 e R2) tiveram o melhor desempenho térmico, enquanto o modelo base, de tipologia geminada, apresentou o pior resultado. Os modelos com recuo em apenas um dos lados (R3, R4, R5 e R6) foram superiores ao modelo base, embora ainda tenham ficado abaixo dos modelos com recuos em ambas as laterais.

O modelo R2-G (recuos de 3 metros em ambos os lados e aberturas grandes) apresentou o melhor desempenho térmico, com um PHFT de 78,1%, enquanto o pior desempenho entre os modelos adaptados ocorreu no modelo R6-P (recuo de 3 metros apenas do lado direito, aberturas pequenas), com 45,03% das horas anuais dentro da faixa de temperatura. No entanto, ao ser incluído o modelo base na análise comparativa, o mesmo apresentou um desempenho consideravelmente inferior a todos os demais, com um PHFT de 34,8% (Gráfico 2).

Gráfico 2: Classificação de desempenho dos modelos de acordo com o PHFT.



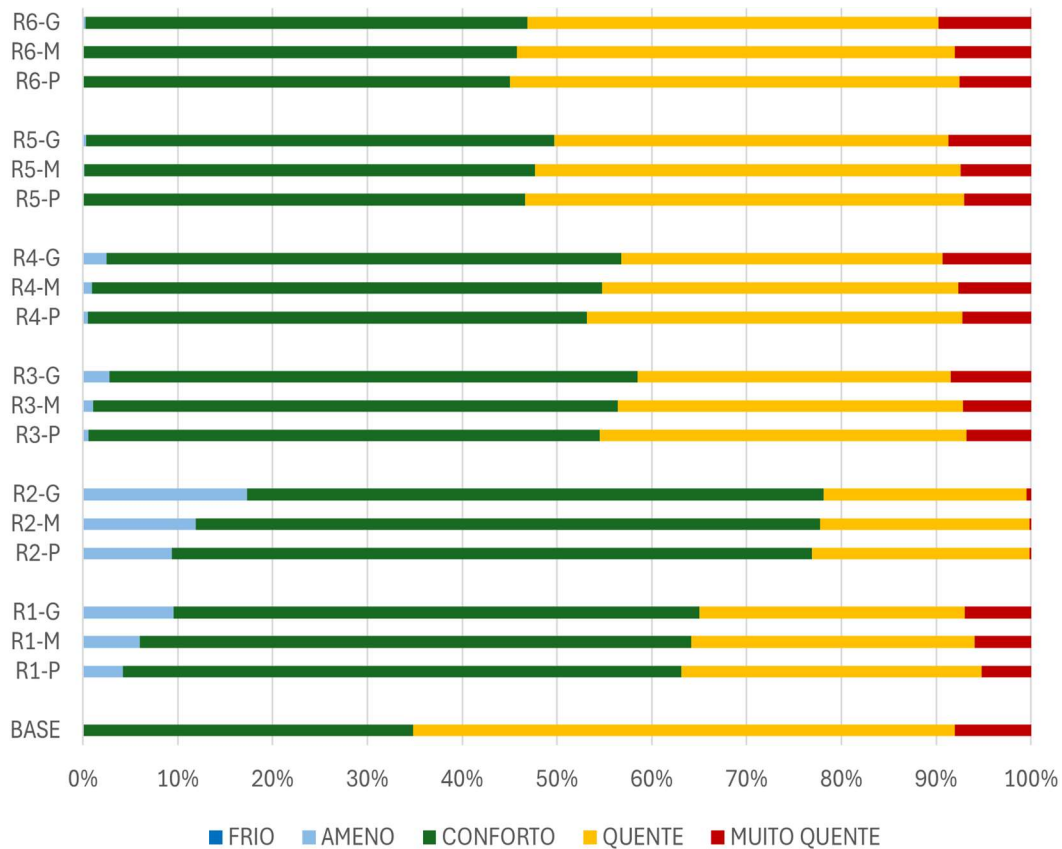
Fonte: Autor.

Ao considerar as faixas de temperatura operativa estabelecidas neste estudo, observou-se que os modelos de tipo R2 foram os que apresentaram a menor quantidade de horas no intervalo de temperatura “muito quente”, e a maior quantidade de horas no intervalo “ameno”. Os modelos de tipo R1 (recuos de 1,5 metros em ambos os lados), por sua vez, também apresentam uma quantidade considerável de horas no intervalo “ameno”, indicando que os melhores desempenhos térmicos foram obtidos pelos modelos com recuos laterais duplos. Os demais modelos, com recuo em apenas uma lateral (R3, R4, R5 e R6) tiveram uma alta proporção de horas nas faixas “quente” e “muito quente”, e poucas horas na faixa “ameno”, reforçando o desempenho inferior dos modelos com recuo em apenas um lado. O modelo base, por sua vez, apresentou a maior porcentagem de horas anuais na faixa de temperatura “quente”, com 57,1%, enquanto a maior quantidade de horas no intervalo “muito quente” foi obtida pelo Modelo R6-G, com 9,7% das horas anuais. Em todos os casos analisados, não foi registrada nenhuma hora no intervalo de temperatura “frio” (Gráfico 3).

Entre os modelos com mesmo tipo de recuo, observou-se uma aproximação entre os resultados. Por exemplo, os modelos com recuo apenas do lado esquerdo (R3 e R4) apresentaram PHFTs entre 53 e 58%, enquanto os de recuo apenas do lado direito tiveram percentuais entre 45% e 49%. Isso indica que nesses casos, aumentar a largura do recuo entre as edificações ou o tamanho das aberturas não trouxe impactos significativos ao desempenho térmico. Por outro lado, a geometria solar consegue justificar o desempenho superior dos modelos com recuo do lado esquerdo em comparação aos modelos com recuo do lado direito: a edificação está implantada de modo que a fachada lateral direita (nos modelos em que ela existe) recebe a

radiação solar vinda do Oeste durante a tarde, período mais quente do dia, enquanto o recuo do lado esquerdo está exposto apenas à radiação Leste durante a manhã. Portanto, a exposição ao sol proveniente do Leste (R3 e R4) resulta em edificações com temperaturas internas mais amenas, em comparação aos modelos em que a exposição ocorre na fachada Oeste (R5 e R6).

Gráfico 3: Resultados das faixas de temperatura operativa dos modelos analisados.



Fonte: Autor.

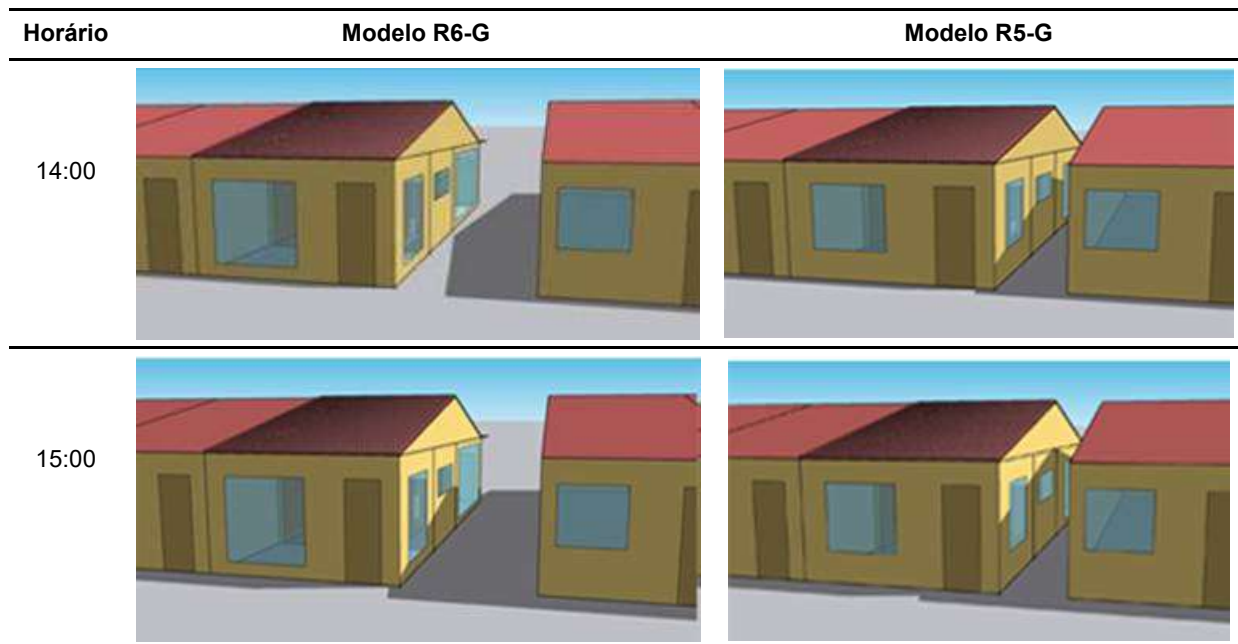
Considerando a distância entre as edificações na análise comparativa, observou-se que os modelos com recuos de 3 metros em ambos os lados (R2) tiveram melhor desempenho em comparação aos modelos com recuos de 1,5 metros em ambos os lados (R1). Já entre os modelos com recuo de apenas um lado, aqueles de recuo de 1,5 metros indicaram desempenho superior aos de 3 metros, destacando que os recuos mais largos foram benéficos apenas nos modelos com recuos em ambas as laterais.

A figura 11 destaca o efeito da geometria solar e do sombreamento de uma edificação sobre a outra nos modelos R5-G e R6-G, sendo observado o efeito da insolação na fachada lateral direita dos modelos às 14:00 e 15:00 do dia 20 de março. Nela é possível observar que:

- às 14:00, a fachada lateral direita do Modelo R6 está completamente exposta à radiação, enquanto no Modelo R5 é parcialmente sombreada pela edificação vizinha;
- às 15:00, a fachada lateral direita do Modelo R6 passa a ser sombreada pela edificação vizinha, enquanto no Modelo R5 uma porção considerável da fachada está protegida.

Portanto, ocorre um considerável efeito de sombreamento de uma edificação sobre a outra, especialmente nos modelos com recuo de 1,5 metros, que recebem menos radiação direta nas suas fachadas laterais e aberturas.

Figura 11: Radiação solar incidente na fachada lateral direita dos modelos R5-G e R6-G às 14:00 e 15:00 do dia 20 de março.

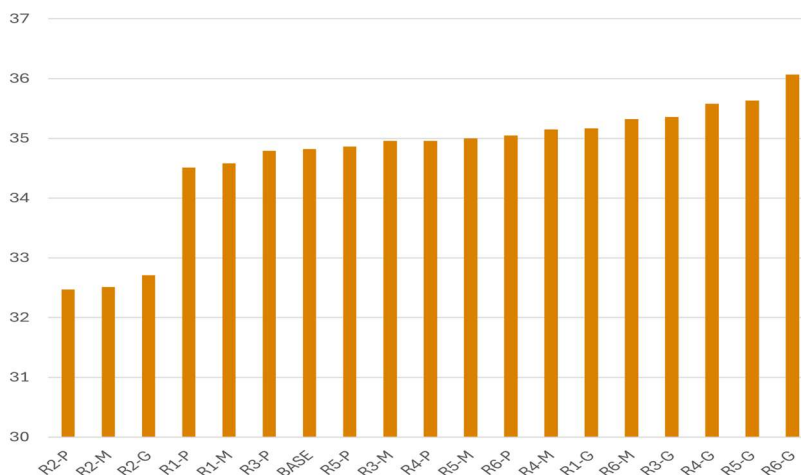


Fonte: Autor.

Em relação ao aumento do tamanho das aberturas, os modelos com aberturas grandes apresentaram desempenho superior entre os modelos de mesmo tipo, em todos os casos analisados, os dados obtidos indicam que:

- O impacto do aumento foi mais significativo nos modelos tipo R3, com um aumento de aproximadamente 4% das horas na faixa de temperatura, enquanto a menor influência do aumento das aberturas no PHFT foi registrada nos modelos tipo R6, com um incremento de apenas 1,83%.
- Embora tenham obtido um desempenho superior, os modelos com aberturas grandes registraram um maior percentual de horas na faixa de temperatura operativa “muito quente” e valores de temperatura operativa máxima (T<sub>OmáxUH</sub>) mais altos em relação aos modelos com aberturas pequenas e médias.
- Os quatro modelos com as maiores T<sub>Omáx</sub> são das séries R3, R4, R5 e R6 com aberturas grandes (Gráfico 4).
- Apesar de o Modelo R6-P ter apresentado o menor desempenho entre os modelos adaptados, o valor mais alto de temperatura operativa máxima foi observado no Modelo R6-G, que alcançou 36,07°C (Tabela 6).

Gráfico 4: Classificação dos modelos de acordo com a Temperatura Operativa Máxima.



Fonte: Autor.

Tabela 6: Quadro-resumo com resultados das simulações computacionais.

MODELO	Frio (%)	Ameno (%)	Conforto (%)	Quente (%)	Muito quente (%)	PHFT (%)	TOMáx (°C)
BASE	0	0	34,82	57,12	8,06	34,82	34,85
R1-P	0	4,19	58,93	31,66	5,22	63,12	34,51
R1-M	0	6,02	58,35	29,97	5,97	64,01	34,58
R1-G	0	9,57	55,48	27,98	6,97	65,05	35,17
R2-P	0	9,35	67,53	22,96	0,16	76,88	32,47
R2-M	0	11,86	65,92	22,02	0,19	77,78	32,51
R2-G	0	17,32	60,81	21,38	0,48	78,13	32,71
R3-P	0	0,55	53,94	38,73	6,78	54,49	34,79
R3-M	0	1,07	55,35	36,40	7,18	56,42	34,96
R3-G	0	2,79	55,69	33,03	8,48	58,48	35,36
R4-P	0	0,51	52,65	39,59	7,26	53,16	34,96
R4-M	0	0,95	53,80	37,58	7,67	54,75	35,15
R4-G	0	2,51	54,25	33,91	9,33	56,76	35,58
R5-P	0	0,11	46,56	46,31	7,02	46,56	34,86
R5-M	0	0,14	47,55	44,87	7,44	47,69	35
R5-G	0	0,35	49,35	41,57	8,73	49,70	35,63
R6-P	0	0,08	44,95	47,44	7,52	45,03	35,05
R6-M	0	0,11	45,66	46,18	8,05	45,77	35,32
R6-G	0	0,24	46,62	43,41	9,73	46,86	36,07

Fonte: Autor.

## 5 CONCLUSÕES

Esse artigo analisou a adequação da tipologia geminada ao clima do semiárido brasileiro através do estudo do desempenho térmico de uma edificação existente. Apesar de ser uma tipologia comum em diversas regiões do mundo, a sua recorrência na região semiárida do Brasil levanta a necessidade de investigar a compatibilidade das construções sem recuos laterais às condições climáticas locais, caracterizadas pela ocorrência de altas temperaturas durante a maior parte do ano.

Um modelo virtual foi construído com base no levantamento arquitetônico de uma edificação localizada em Juazeiro do Norte, Ceará. Com o monitoramento de dados microclimáticos no interior da edificação foi realizada a calibração do modelo digital, ajustando seus parâmetros para representar com maior precisão o desempenho térmico do edifício real. Após as etapas de medição, monitoramento e calibração, intervenções na envoltória da edificação em estudo foram avaliadas através de simulação computacional, sendo investigados diferentes cenários que permitiram aprofundar a compreensão entre a edificação e o clima local.

Os resultados apontaram que a introdução de recuos laterais e aberturas na envoltória resultou em modelos de desempenho térmico superior em comparação à edificação geminada, que por sua vez obteve o pior desempenho entre todos os cenários analisados. Apesar de a ausência de recuos laterais implicar em uma envoltória menos exposta à radiação solar direta e, portanto, com menor potencial de aquecimento durante o dia, essa mesma ausência de fechamentos em contato com o exterior reduz a possibilidade de resfriamento através da ventilação natural e convecção do ar, especialmente no período noturno, resultando em um desempenho inferior do modelo geminado analisado.

Por outro lado, a presença de recuos laterais resulta em edificações com envoltórias expostas ao ambiente externo, favorecendo as trocas de calor entre o interior e exterior através das paredes e esquadrias por condução, convecção e radiação. Dessa forma, quando as temperaturas externas são mais baixas, edificações com recuos laterais perdem mais calor para o meio externo através da envoltória em comparação às edificações geminadas, cujo contato com o exterior é limitado.

A análise de diferentes tipos de recuos laterais evidenciou o impacto da ventilação cruzada e de características associadas à geometria solar e a implantação da edificação no terreno. A ventilação cruzada mostrou-se limitada nos modelos com recuo em um único lado, o que resulta em uma menor dissipação de calor e, conseqüentemente, uma carga térmica mais alta do que nos modelos com recuos laterais duplos. Os modelos com recuo à direita, exposto à radiação solar oeste, apresentaram desempenho inferior aos modelos com recuo à esquerda, evidenciando o papel da orientação solar no desempenho térmico, assim como o sombreamento entre edificações contribuiu para o desempenho superior na maioria dos modelos de menor espaçamento. Esses resultados destacam a importância da ventilação cruzada e da proteção solar para evitar a entrada de calor e reduzir a carga térmica da edificação em climas quentes.

Em relação aos diferentes tamanhos de aberturas, modelos com aberturas maiores mostraram um maior percentual de conforto anual, porém, também apresentaram temperaturas operativas máximas mais elevadas. Dessa forma, observa-se que a ventilação natural proporcionada por aberturas amplas foi benéfica em períodos de clima ameno, no entanto, durante a estação quente e seca, o ar externo pode elevar as temperaturas internas durante as horas mais quentes do dia. Aberturas maiores também podem expor uma maior parte do interior à radiação solar direta, aumentando as temperaturas internas especialmente durante a tarde. Assim, recomenda-se o uso de aberturas grandes no clima semiárido apenas se houver possibilidade de fechamento durante os períodos mais quentes, sendo também imprescindível um sistema de proteção à radiação solar direta.

Diante dos resultados obtidos, é possível concluir que o modelo de tipologia geminada apresentou limitações consideráveis no seu desempenho térmico para a o clima semiárido em estudo. Soluções que contemplem sistemas eficientes de ventilação cruzada pela cobertura podem reduzir as limitações encontradas, dado que o modelo analisado representa uma situação contemporânea onde há o emprego de um painel de forro criando um ático entre a cobertura e o ambiente. Na região é comum encontrar edificações geminadas sem forro nos ambientes internos, o que, em teoria, poderia incrementar a ventilação interna devido ao efeito chaminé, potencializando o seu desempenho térmico, fato que explicaria a frequente presença desse tipo arquitetônico no clima em estudo.

Em estudos futuros, recomenda-se a investigação de variáveis como o sombreamento total das aberturas — por meio de venezianas ou outros dispositivos —, a ausência de forro, com o objetivo de avaliar o potencial de ventilação pela cobertura, e a adoção de diferentes alturas de pé-direito. Ademais, destaca-se como limitação desta pesquisa a ausência de uma análise criteriosa da amplitude térmica entre os ambientes externo e interno, a qual permitiria identificar o potencial de alternância entre estratégias de isolamento térmico e resfriamento natural ao longo de 24 horas e do ano.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES pelas bolsas concedidas aos coautores, ao CNPQ pelo suporte financeiro através das chamadas CNPq/MCTI/FMDCT Nº 18/2021 - Processo: 408422/2021-1, CNPq/MCTI Nº 10/2023 - Processo: 407014/2023-3 e à Universidade Federal da Paraíba - edital CGPq/PROPEAQ Projeto: PVF13548-2020.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, R.; SUI, J.; YANG, Y.; ZUO, W.; O'DONNELL, J.; HEWITT, N. **Energy efficiency and thermal resilience analysis of row houses in Baltimore City using representative Building Energy Models**. SSRN, mar. 2025 <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5182775>>. Acesso em: março, 2025.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ASADI, Somayeh; FAKHARI, Maryam; SENDI, Mona. **A study on the thermal behavior of traditional residential buildings: Rasoulia house case study**. Journal of Building Engineering, v. 7, p. 334-342, 2016. DOI: 10.1016/j.jobee.2016.07.012.

- ASFOUR, O; ALSHAWAF, E. **Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates.** *Energy and Buildings*, vol. 91, p. 131-138, 2015. DOI:10.1016/j.enbuild.2015.01.030.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575:** Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
- AYAD, E. **Performance evaluation of buildings and their envelopes in Saudi Arabia's hot climate.** Tese (Ph.D). School of Architecture, Planning and Environmental Policy, University College Dublin, Dublin, Ireland, 2022.
- COSTA, M.; NASCIMENTO, J.; PEREIRA, J.; AMORIM, G.; OLIVEIRA, R.; GONÇALVES, E.; OITICICA, M.; TORRES, S. Reflexão sobre o adensamento construtivo e qualidade ambiental urbana: um estudo baseado na análise de desempenho climático e acústico de tecidos urbanos. XVI ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) / XII ELACAC (Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído). **Anais do .....** Palmas: ANTAC, 2021, s/p.
- CRISÓSTOMO, N.; BARBOZA, E.; SAMPAIO, M.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, D. Ilhas de Calor Urbano: Influência da Arborização na Amenização Climática em Juazeiro do Norte, Ceará. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 36-43, out./dez., 2019.
- DEPECKER, P.; MENEZO, C.; VIRGONE, J.; LEPERS, S. Design of buildings shape and energetic consumption. **Building and Environment**, vol. 36, n. 5, p. 627-635, jun. 2001. <[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00044-5)>. Acesso em: agosto, 2024.
- DONN, M.; BRAASCH, E.; WOODBURY, M.; NOVAK, E.; BANKS, A. Design research: optimising row-house orientation. 14th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. **Proceedings of .....** Hyderabad, India, 2015, s/p. <<https://doi.org/10.26868/25222708.2015.2813>>. Acesso em: julho, 2024.
- ELBELTAGI, E.; WEFKI, H.; ABDRABOU, S.; DAWOOD, M.; RAMZY, A. Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 13, p. 127–136, 2017. DOI: 10.1016/j.job.2017.07.012.
- FARIAS, D. **Desempenho térmico da cobertura de habitação do tipo fita em clima quente e úmido e meio urbano adensado.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2019.
- GOUVEIA, G. G.; LEDER, S. M. Calibração de um modelo de simulação termoenergética de edificação localizada no semiárido brasileiro. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 2025, São Carlos. Porto Alegre: ANTAC, 2025. v. 1.
- HAILU, H.; GELAN, E.; GIRMA, Y. Indoor Thermal Comfort Analysis: A Case Study of Modern and Traditional Buildings in Hot-Arid Climatic Region of Ethiopia. **Urban Science**, v. 5, n. 53. 2021, pp. .... DOI:10.3390/urbansci5030053.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Portal do INMET.** Brasília, DF: INMET, [s.d.]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: ago. 2023.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, jun. 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- LEIGH, R.; KLEINBERG J.; SCHEIB, C.; UNGER, R.; KIENZL, N.; ESPOSITO, M.; HAGEN, E.; TILLOU, M. Leaks and lives: how better building envelopes make blackouts less dangerous. In: ACEEE (Summer Study on Energy Efficiency in Buildings). **ACEEE 2014.** American Council for an Energy-Efficient Economy: Washington, 2014, p. 17-22.
- LU, D. B.; WARSINGER, D. M. Energy savings of retrofitting residential buildings with variable air volume systems across different climates. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101223, 2020. DOI: 10.1016/j.job.2020.101223.
- MAHAR, W. A.; VERBEECK, G.; SINGH, M. K.; ATTIA, S.. An investigation of thermal comfort of houses in dry and semi-arid climates of Quetta, Pakistan. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5203, 2019. DOI: 10.3390/su11195203.
- MARTINS, T.; BASTOS, L.; KRAUSE, C.; BITTENCOURT, L.; PASSOS, I. O uso de torres de vento em edificações residenciais geminadas de meia-morada. X ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) / VI ELACAC (Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído). **Anais do .....** Natal: ANTAC, 2009, s/p.
- MASTOURI, H.; BENHAMOU, B.; HAMDI, H.; MOUYAL, E. Thermal performance assessment of passive techniques integrated into a residential building in semi-arid climate. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 1–16, 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.022

MONTEIRO, Y. **Por uma moradia termicamente confortável**: proposta de Habitação de Interesse Social com ênfase no conforto térmico. 127 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

MOUSAVI, S.; GIJÓN-RIVERA, M.; RIVERA-SOLORIO, C. I.; GODOY RANGEL, C. G. Energy, comfort, and environmental assessment of passive techniques integrated into low-energy residential buildings in a semi-arid climate. **Energy and Buildings**, v. 263, p. 112053, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112053.

NASCIMENTO, T. **Casas e gentes**: modos de viver e morar em uma cidade do interior de Alagoas. 234 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Dinâmica do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2015.

OLIVEIRA, A. **A influência das recomendações do zoneamento bioclimático brasileiro no desempenho térmico da envoltória de Edificações de Interesse Social nos municípios da Paraíba**. Dissertação (Mestrado). em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.

PACHECO, G. **Determinação de recomendações bioclimáticas para Habitação de Interesse Social de quatro climas do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

PALAZZO, P. P. Vernacular Patterns in Portugal and Brazil: Evolution and Adaptations. **Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism**, n. 2, p. 359–370, Toledo, 2021. DOI: 10.51303/jtbau.vi2.524.

PARK, J. H.; WI, S.; CHANG, S. J.; KIM, S. Analysis of energy retrofit system using latent heat storage materials applied to residential buildings considering climate impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 169, p. 114904, 2020. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2020.114904.

ROMERO, M. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: CopyMarket.com, 2000.

SAˆGDIÇOˆGLU, M. S.; YENICE, M. S.; TEL, M. Z. The use of energy simulations in residential design: a systematic literature review. **Sustainability**, v. 16, 8138, 2024. DOI:10.3390/su16188138.

SADAFI, N.; SALLEH, E.; HAW, L.; JAAFAR, Z. Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, pp. 887-893, abr. 2011. <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.009>>. Acesso em: agosto, 2024.

SANTOS, D. **Diagnóstico da sustentabilidade nas construções residenciais no município de Juazeiro do Norte/CE com base no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Universidade Federal do Ceará. Juazeiro do Norte, 2013.

SONG, Y.; DARANI, K.; KHDIAIR, A.; ABU-RUMMAN, G.; KALBASI, R. A review on conventional passive cooling method applicable to arid and warm climates considering economic cost and efficiency analysis in resource-based cities. **Energy Reports**, n. 7, p. 2784-2820, mai., 2021. <<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.056>>. Acesso em: maio, 2024.

STUPKA, R.; KENNEDY, C. Impact of neighbourhood density on building energy demand and potential supply via the urban metabolism. In: ACEE Summer study on energy efficiency in buildings. **ACEE 2010**, p. 239-252. American Council for an Energy-Efficient Economy: Washington, 2010.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Delimitação do semiárido – 2021**: Relatório final. Ministério do Desenvolvimento Regional: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Recife, 2021.

TAKKANON, P. Design guidelines for thermal comfort in row houses in Bangkok. In: PLEA2006 (The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture): **Proceedings of ....** Geneva, 2006, s/p.

TANTASAVASDI, C.; ARTTAMART, S.; INPROM, N. **Combined wind catchers and side windows for cross ventilation in row houses**. Journal of Engineering, Design and Technology, jan. 2024. <<https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2023-0079>>. Acesso em: julho, 2024.

TERECI, A.; KESTEN, D.; EICKER, U. **The impact of the urban form on heating, cooling and lighting demand of cities**. In: ICSU Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Urbanization: Hong Kong, 2010.

VEIGA, R.; ELI, L.; OLINGER, M.; MAZZAFERRO, L.; PEREIRA, H.; MELO, A.; VERSAGE, R.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – versão 9.0.1**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

WEBER, F.; MELO, A.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LABEEE, 2017.

WRIGHT, A.; VENSUNAS, E. Effects of future climate change and adaptation measures on summer comfort on modern homes across the regions of the UK. **Energies**, v. 15(2), p.1-26, jan. 2022. <<https://doi.org/10.3390/en15020512>>. Acesso em: maio, 2024.

YAMAN, G. Ö. Enhancing summer thermal comfort and energy performance in university office spaces using DesignBuilder's parametric optimization: the role of window openings, solar shading, and HVAC system. *International Journal of Energy Studies*, v. 10, n. 2, p. 461–510, 2025.

ZANELLA, M. **Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZOU, Y.; GUO, J.; XIA, D.; LOU, S.; HUANG, Y.; YANG, X.; ZHONG, Z. Quantitative analysis and enhancement on passive survivability of vernacular houses in the hot and humid region of China. *Journal of Building Engineering*, v. 71, jul. 2023.

---

NOTA DO EDITOR (\*): O conteúdo do artigo e as imagens nele publicadas são de responsabilidade das autoras.