

ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR: INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO E ROTINA DE OCUPAÇÃO

Analysis of Thermal Load in a Single-Family House: Influence of Shading, Thermal Insulation and Occupancy Routine

Análisis de la Carga Térmica en una Vivienda Unifamiliar: Influencia del Sombreamiento, Aislamiento Térmico y Rutina de Ocupación

CASSOL, F.¹; CAROTENUTO, A. R. S.²

Resumo

O presente estudo investigou a carga térmica envolvida na climatização de uma habitação unifamiliar localizada em clima subtropical úmido (Cfa) do sul do Brasil, por meio de simulação computacional no software EnergyPlus versão 9.4. O objetivo foi analisar a influência do sombreamento lateral de edificações vizinhas, do isolamento térmico aplicado ao forro e de diferentes rotinas de ocupação sobre as demandas de aquecimento e resfriamento. A unidade habitacional foi modelada no SketchUp, associada a arquivo climático de Santa Maria/RS, considerando setpoints de 22 °C para aquecimento e 24,5 °C para resfriamento em sistema HVAC do tipo PTHP. As simulações foram organizadas em duas rotinas de uso (noturna e diurna) e em quatro cenários construtivos, com combinações de sombreamento e isolamento, e os resultados foram apresentados em tabelas e gráficos mensais de carga térmica e em médias mensais de consumo elétrico. Na Rotina 1 (uso noturno), observou-se maior demanda de aquecimento, com pico próximo de 5085 BTU/h no inverno, enquanto as cargas de resfriamento foram reduzidas e pouco sensíveis ao sombreamento; o pior desempenho energético ocorreu sem isolamento e sem sombreamento. Na Rotina 2 (uso diurno), destacou-se a demanda de resfriamento, com pico de 6895 BTU/h no verão sem sombreamento e redução significativa quando sombreamento e isolamento foram aplicados (valores em torno de 2906,92 BTU/h em janeiro); o melhor desempenho médio ocorreu sem sombreamento e com isolamento. Conclui-se que o isolamento no forro contribui para a redução de cargas em todas as condições, enquanto o sombreamento é mais relevante para ocupação diurna, indicando que a integração dessas estratégias pode orientar diretrizes construtivas mais eficientes para habitações em clima subtropical úmido.

Palavras-chave: Energia; Consumo energético; Energyplus.

¹ CASSOL, F. - Fabiano Cassol: Prof. Dr. da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9633-2955>, fabiano.cassol@uffs.edu.br

² CAROTENUTO, A. R. S. - Adriano Roberto da Silva Carotenuto: Prof. Dr. da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9633-2955>, adrianocarotenuto@unipampa.edu.br

COMO CITAR:

CASSOL, F.; CAROTENUTO, A. R. S. ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR: INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO E ROTINA DE OCUPAÇÃO. Engenharia Urbana Em Debate, 6(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v6i1.137>

Data da Submissão:
19 de setembro de 2024
Data da Aprovação:
4 de junho de 2025
Data da Publicação:
17 de dezembro de 2025



Abstract

This study investigated the thermal load involved in conditioning a single-family dwelling located in a humid subtropical climate (Cfa) in southern Brazil, using EnergyPlus version 9.4. The aim was to analyze the influence of lateral shading from neighboring buildings, thermal insulation applied to the ceiling, and different occupancy routines on heating and cooling demands. The dwelling was modeled in SketchUp and linked to a weather file of Santa Maria/RS, with HVAC setpoints of 22 °C for heating and 24.5 °C for cooling using a PTHP system in autosize mode. Simulations were organized into two occupancy routines (nighttime and daytime) and four constructive scenarios combining shading and insulation, with results presented in monthly tables and graphs of thermal loads and average monthly electricity consumption. In Routine 1 (nighttime use), the highest demand was for heating, with a peak of approximately 5085 BTU/h in winter, while cooling loads were lower and little affected by shading; the worst performance occurred without shading and insulation. In Routine 2 (daytime use), cooling was predominant, reaching a peak of 6895 BTU/h in summer without shading, and showing significant reduction when shading and insulation were applied (values around 2906.92 BTU/h in January); the best average performance was observed without shading but with insulation. The results show that ceiling insulation consistently reduces heating and cooling loads, while shading is particularly relevant for daytime occupancy, supporting constructive guidelines for energy-efficient housing in humid subtropical climates.

Keywords: Energy; Energy consumption; EnergyPlus.

Resumen

El presente estudio investigó la carga térmica de climatización en una vivienda unifamiliar ubicada en un clima subtropical húmedo (Cfa) del sur de Brasil, mediante simulación computacional en el software EnergyPlus versión 9.4. El objetivo fue analizar la influencia del sombreado lateral de edificaciones vecinas, del aislamiento térmico aplicado al cielorraso y de diferentes rutinas de ocupación sobre las demandas de calefacción y refrigeración. La vivienda fue modelada en SketchUp y asociada a un archivo climático de Santa Maria/RS, con consignas de 22 °C para calefacción y 24,5 °C para refrigeración en un sistema HVAC tipo PTHP con autosize. Las simulaciones se organizaron en dos rutinas de uso (nocturna y diurna) y en cuatro escenarios constructivos que combinan sombreado y aislamiento, y los resultados se presentaron en tablas y gráficos mensuales de carga térmica y en promedios mensuales de consumo eléctrico. En la Rutina 1 (uso nocturno), se observó mayor demanda de calefacción, con un pico cercano a 5085 BTU/h en invierno, mientras que las cargas de refrigeración fueron reducidas y poco sensibles al sombreado; el peor desempeño energético ocurrió sin aislamiento y sin sombreado. En la Rutina 2 (uso diurno), predominó la refrigeración, con un pico de 6895 BTU/h en verano sin sombreado y una reducción significativa cuando se aplicaron sombreado y aislamiento (valores alrededor de 2906,92 BTU/h en enero); el mejor desempeño promedio se registró sin sombreado y con aislamiento. Se concluye que el aislamiento en el cielorraso contribuye a reducir cargas en todas las condiciones, mientras que el sombreado es más relevante para ocupación diurna, lo que indica que la integración de estas estrategias puede orientar directrices constructivas más eficientes para viviendas en clima subtropical húmedo.

Palabras-clave: Energía; Consumo energético; EnergyPlus.

1. Introdução

O consumo de energia residencial tem se intensificado nos últimos anos, impulsionado por avanços tecnológicos e pelo aumento no uso de equipamentos eletroeletrônicos (Kamaludin, 2013). Entre os principais fatores que contribuem para esse aumento estão a iluminação artificial, os equipamentos eletrônicos e motores elétricos, entre outros (Pérez-Lombard et al., 2008; Bowhmic et al., 2023). Além disso, a utilização de sistemas de condicionamento de ar para aquecimento e resfriamento de ambientes tem gerado um acréscimo significativo no consumo energético (Thomas e Rosenow, 2020). O uso desses sistemas sem uma avaliação prévia das trocas térmicas do ambiente pode resultar em consumo energético superior ao necessário (Lam, 2000; Mathew et al., 2008; Shan et al., 2019).

A carga térmica proveniente de fatores externos, como a irradiação solar e a temperatura do ar ambiente, tem uma contribuição significativa no aumento do consumo energético relacionado ao resfriamento ou aquecimento de ambientes. Além disso, a infiltração de ar interfere no conforto térmico e também eleva o consumo de energia (Sakiyama et al., 2021). Em novas edificações, o consumo energético pode ser reduzido por meio da otimização do projeto. Já em construções existentes, alternativas como melhorias nas características térmicas das paredes, do forro e do isolamento térmico podem contribuir para a economia de energia (Yu et al., 2015; Annibaldi et al., 2020).

Os elementos construtivos das edificações, como

as paredes, os materiais de isolamento térmico, as janelas, o sombreamento e as cores, têm papel essencial na otimização da estrutura e na eficiência energética (Kamimura et al., 2020). A rotina de ocupação do ambiente também influencia o consumo energético, sendo impactada por fatores como horários de trabalho, uso de equipamentos eletroeletrônicos e necessidades de conforto térmico. Essas características, mesmo individuais, devem ser consideradas no projeto (Sukarno et al., 2017; Chen et al., 2021; Wu et al., 2023).

Embora o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar geralmente desconsidere o efeito do sombreamento (Lam, 2000), em grandes centros urbanos a densidade populacional torna inevitável a interferência de edificações vizinhas. Estudos como os de Ascione et al. (2020) indicam que os efeitos de sombreamento dependem da área superficial impactada e podem ser relevantes para a modelagem energética.

Pesquisas recentes destacam o impacto do sombreamento e de estratégias relacionadas na eficiência energética de residências unifamiliares. Kazanci e Olesen (2015) analisaram variáveis como sombreamento solar, ventilação e áreas envidraçadas no desempenho térmico de residências, enquanto Levinson (2019) estudou a influência do sombreamento gerado por edifícios vizinhos na economia de energia em sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning - Aquecimento, ventilação e ar condicionado). Maftouni e Kiana (2020) avaliaram a redução da carga térmica com alterações em janelas, paredes externas e uso de sombreamento. Prozuments et al. (2021) utilizaram modelagens para analisar cenários otimizados de sombreamento e ventilação.

No entanto, poucos estudos focam exclusivamente na influência do isolamento térmico aplicado ao forro de residências no consumo energético de sistemas HVAC. Normalmente, as abordagens integram múltiplos fatores, como paredes, janelas e sombreamento. Para preencher essa lacuna, este estudo busca explorar o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar HVAC PTHP (Packaged Terminal Heat Pump - bomba de

aquecimento do terminal compacto), avaliando o impacto do sombreamento e do isolamento térmico no forro de uma edificação unifamiliar. O objetivo principal deste estudo é analisar a carga térmica de aquecimento e resfriamento em uma habitação unifamiliar, considerando o impacto do sombreamento lateral, da presença de isolamento térmico no forro e da rotina de ocupação. A partir dessa análise, busca-se estimar o consumo energético associado às diferentes condições de uso e de projeto.

Além dos aspectos construtivos, o desempenho energético das edificações está relacionado ao planejamento urbano. Parâmetros como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e índice de permeabilidade influenciam a ventilação natural, a radiação solar recebida e o microclima local. Quando definidos sem critérios técnicos, podem gerar sombreamento excessivo, reduzir a circulação de ar e intensificar o efeito de ilhas de calor. Dessa forma, a integração entre soluções arquitetônicas e diretrizes urbanísticas é importante para ampliar os ganhos em eficiência energética.

2. Metodologia

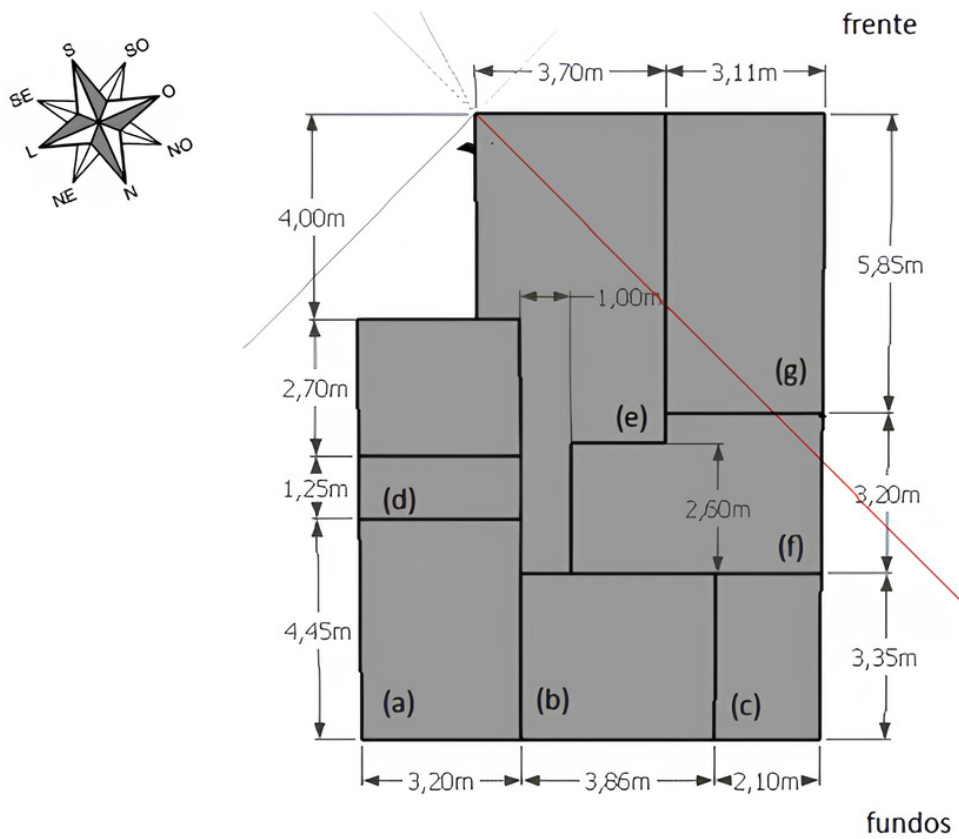
A análise termoenergética da edificação foi realizada utilizando os softwares de modelagem SketchUp Make 2017 (software de edição da geometria da edificação) e EnergyPlus 9.4 (software de simulação de carga térmica e consumo energético). As versões dos softwares utilizadas são de distribuição gratuita. A modelagem do ambiente busca determinar o dimensionamento de equipamentos de condicionamento de ar a partir do detalhamento de cargas térmicas internas (principalmente relacionadas à ocupação humana no ambiente) e cargas térmicas externas (clima local e infiltração de ar).

A habitação selecionada para a execução da avaliação está localizada em uma região de clima subtropical úmido do tipo Cfa, conforme a classificação de Köppen-Geiger. Essa classificação considera verão quente, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, ausência de estação seca, com umidade durante todo o ano, e temperatura média do mês mais frio

entre -3°C e 18°C . As temperaturas na região apresentam variações significativas ao longo das estações do ano, com verão quente e inverno frio, caracterizando estações bem definidas. A habitação está posicionada com sua face frontal angulada em 45 graus em relação ao eixo norte, voltada para a direção sudoeste. As dimensões da edificação estão ilustradas nas Figuras 1 a 5, enquanto o sombreamento e as dimensões correspondentes estão indicados na Figura 2. A

cidade de Santa Maria, RS, Brasil, foi utilizada como referência para a obtenção dos dados climáticos (EnergyPlus, 2024). Para fins de simulação, foram considerados quatro dias de projeto para temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho no período de verão, totalizando doze dias de projeto. Para o período de inverno, foi considerado um dia para temperatura de bulbo seco e um dia para ponto de orvalho, totalizando dois dias de projeto.

Figura 1 – Dimensões da habitação utilizada na simulação. Representação inferior da divisão e distribuição de cada cômodo da habitação. (a) Quarto. (b) Quarto. (c) Lavanderia. (d) Banheiro. (e) Sala/corredor. (f) Cozinha. (g) Garagem. (h) Quarto. Na figura, a coloração azul representa o céu, cinza representa a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

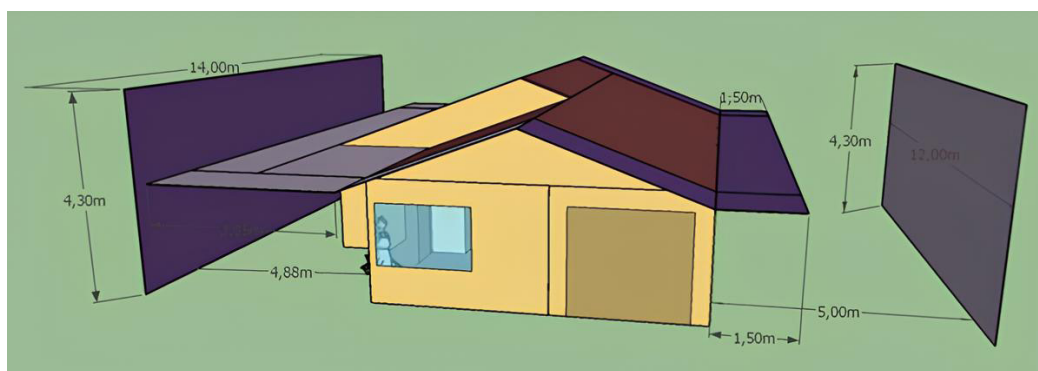
Os dias de projeto são formulados a partir de dados climáticos estatísticos que representam condições extremas ou características típicas para o dimensionamento de sistemas térmicos. No período de verão, foram considerados quatro dias de projeto distintos, cada um focado em diferentes combinações de variáveis climáticas, como temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho. Cada combinação reflete situações de máxima carga térmica para resfriamento e controle de umidade. No período de inverno, foram considerados dois dias de projeto: um voltado para a condição extrema de temperatura de bulbo seco, visando a maior demanda de aquecimento, e outro focado no ponto de orvalho, para controle de umidade em climas frios. Dessa forma, os dias de projeto abrangem tanto o dimensionamento de resfriamento no verão quanto o de aquecimento no inverno, com o objetivo de garantir o desempenho adequado dos sistemas HVAC sob condições

críticas. As informações climáticas foram obtidas em ASHRAE, 2024.

A habitação unifamiliar possui 104,15 metros quadrados de área, com três quartos, um banheiro, uma sala, uma cozinha, uma lavanderia e uma garagem. No projeto, apenas os quartos e a sala são climatizados. A representação esquemática do modelo computacional para simulação está apresentada na Figura 3. O pé direito da habitação corresponde a 2,6 metros de altura.

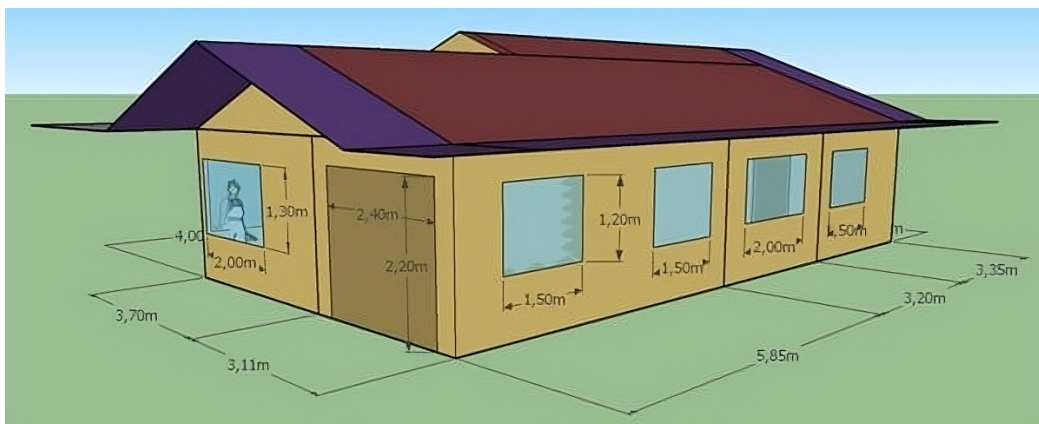
Foi utilizado um sistema do tipo PTHP (Packaged Terminal Heat Pump - bomba de aquecimento do terminal compacto), com COP 3,0 W/W (Coefficient of Performance - coeficiente de performance). O setpoint (ponto de ajuste) de temperatura foi configurado para acionamento do aquecimento em 22°C e do resfriamento em 24,5°C.

Figura 2 – Vista frontal e indicação das áreas de sombreamento na habitação. O sombreamento ocorre por construções no lado esquerdo e direito da habitação e através das abas do telhado. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, amarelo e marrom representam a edificação, azul em tonalidade transparente representa áreas de vidro e os tons de roxo representam o sombreamento



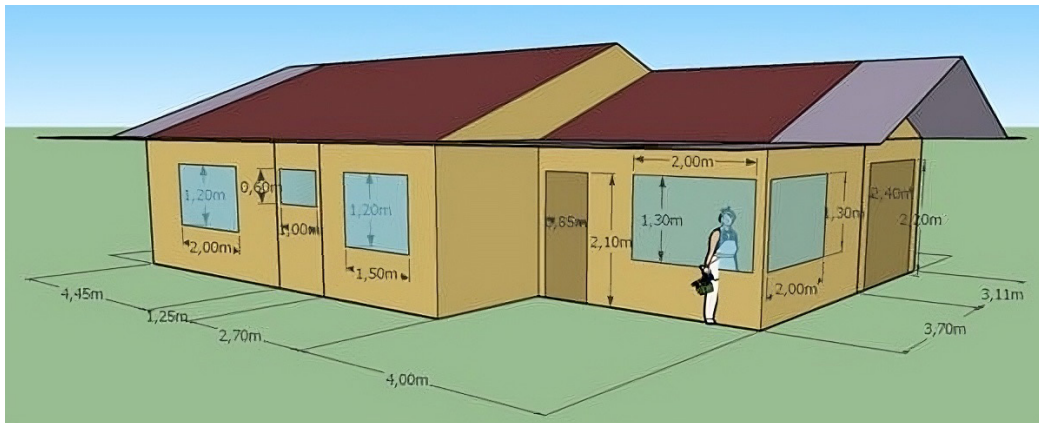
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 3 – Vista frontal da habitação utilizada na simulação. Indicação das janelas laterais lado noroeste. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo e marrom representam a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 4 – Vista lateral da habitação utilizada na simulação. Indicação das janelas laterais lado Oés-noroeste. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo e marrom representam a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As resistências de troca térmica entre cada zona e o ambiente externo são delimitadas por meio das superfícies de troca de calor. A resistência de troca térmica é uma propriedade que mede a dificuldade com que o calor flui através de um material. As superfícies de troca de calor incluem

paredes, pisos, teto, portas e janelas da habitação.

A Tabela 1 apresenta as zonas térmicas consideradas para a simulação. No total, foram analisadas 8 zonas térmicas, 77 superfícies (paredes, tetos e pisos) e 27 subsuperfícies (portas

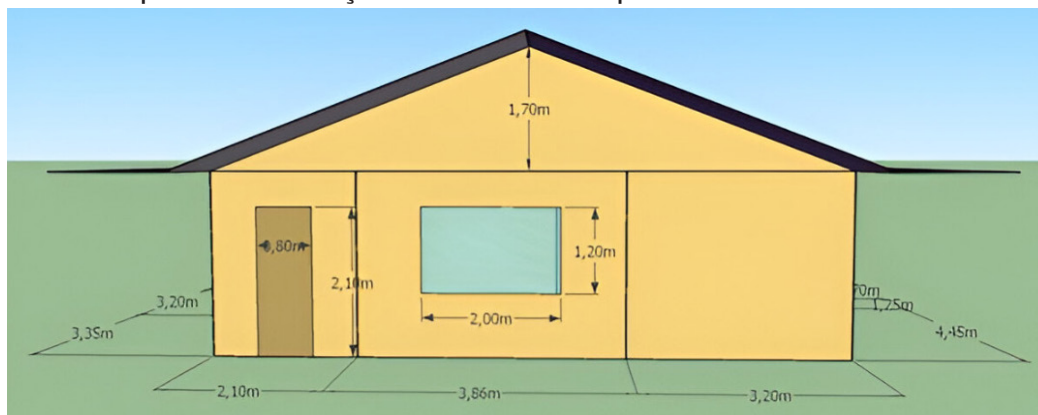
e janelas). Todos os cômodos possuem acesso x 2,1 metros. As portas e janelas externas estão interno por meio de portas com dimensões de 0,8 representadas nas Figuras 1 a 5.

Tabela 1 – Zonas térmicas e características construtivas

Zona	Nome	Evolução livre da temperatura	Volume (m³)	Ocupação - Rotina 1 (predominância noturna)	Ocupação - Rotina 2 (predominância diurna)
1	Sala	Não	63,4	Segunda à Sexta-Feira: 17h-21h Iluminação: 3 horas por dia Sábado e Domingo: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia	Segunda à Sexta-Feira: 13h-17h Iluminação: 3 horas por dia Sábado e Domingo: 7h-19h Iluminação: 3 horas por dia
2	Cozinha	Sim	38,3	Todos os dias: 7h-8h; 10h-13h; 19h-20h Iluminação: 3 horas por dia Fogão: 3 horas por dia	Todos os dias: 7h-8h; 10h-13h; 19h-20h Iluminação: 3 horas por dia Fogão: 3 horas por dia
3	Lavanderia	Sim	18,3	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
4	Garagem	Sim	47,3	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
5	Banheiro	Sim	10,4	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
6	Quarto 1	Não	37,0	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia
7	Quarto 2	Não	33,6	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia
8	Quarto 3	Não	22,5	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia

* Cômodos sem horário de ocupação definidos. Dimensionado considerando 25% de ocupação ao longo do dia durante toda a semana. Todos os cômodos foram configurados para utilização de 3 horas de iluminação artificial ao longo do dia.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 5 – Vista dos fundos da habitação. Indicação de janela e porta. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo representa a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Todas as janelas foram consideradas como superfícies de vidro. As portas internas e externas são de madeira, exceto a porta de acesso aos fundos da habitação, que é metálica. Todas as paredes possuem o mesmo material construtivo. O reboco é de COR CLARA com as propriedades (alpha, emissividade, etc.), informados na Tabela 2.

O forro e o telhado representam uma zona térmica com volume de 82,56 metros cúbicos. As referências volumétricas de todos os cômodos estão apresentadas na Tabela 1. As áreas de sombreamento indicadas no modelo (representadas em coloração roxa na Figura 2) correspondem tanto às abas do telhado quanto às edificações vizinhas (paredes da vizinhança).

Nos resultados, o sombreamento causado pelas abas do telhado está presente em todas as simulações. Já o sombreamento proveniente das habitações vizinhas é considerado nos resultados apenas quando indicada explicitamente a sua presença.

A Tabela 2 apresenta as características construtivas das superfícies e subsuperfícies. Os parâmetros são definidos da seguinte forma: e representa a espessura do material; k é a condutividade

térmica; ρ é a densidade de massa aparente; c corresponde ao calor específico do material; α_t é a absorvidade da radiação térmica de onda longa na temperatura de superfície de 300 K; α_s é a absorvidade da radiação solar integrada em todo o espectro do comprimento de onda; e α_v é a absorvidade da radiação solar integrada no espectro do comprimento de onda visível. Os parâmetros α_t , α_s e α_v são adimensionais.

A rotina de ocupação dos habitantes está descrita na Tabela 1. Durante a semana, a rotina de ocupação determina que os quartos são os ambientes com maior tempo de utilização, enquanto nos finais de semana (sábado e domingo), a sala passa a ser o cômodo de maior ocupação.

Duas rotinas distintas de ocupação foram consideradas:

- Rotina 1: Durante a semana, os habitantes permanecem fora da residência no período diurno, ocupando a habitação principalmente no período noturno.
- Rotina 2: Durante a semana, os habitantes permanecem na habitação principalmente no período diurno.

A residência é ocupada por 3 pessoas, que se distribuem alternadamente pelos diferentes cômodos. Dessa forma, as estimativas de

ocupação e uso dos ambientes foram consideradas aproximadas, com valores médios utilizados para a análise.

Tabela 2 – Propriedades dos materiais construtivos da habitação

Material	Propriedades						
	e (m)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ρ (kg m ⁻³)	c (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	α _t	α _s	α _v
Tijolo 6 furos	0,14	0,37	898	480	0,92	0,75	0,75
Reboco das paredes	0,0015	1,15	1800	1000	0,90	0,50	0,50
Telha de fibrocimento	0,008	0,95	1900	840	0,9	0,75	0,75
Forro de madeira	0,01	0,15	608	1630	0,90	0,50	0,50
Porta de madeira	0,035	0,15	608	1630	0,90	0,50	0,50
Porta metálica	0,0005	45,28	7824	500	0,90	0,50	0,50
Piso cerâmico	0,005	1	1900	1000	0,90	0,75	0,75
Estrutura de contrapiso	0,03	1,15	2000	1000	0,90	0,50	0,50
Isolamento térmico	0,5	0,03	43	1210	-	-	-

Fonte: SIEGEL; HOWELL, 2002; ABNT, 2003; ASHRAE, 2005.

As propriedades do vidro utilizado nas janelas (vidro claro simples) são as seguintes: espessura de 3 mm, transmitância solar de 0,837, refletância solar externa de 0,075, refletância solar interna de

0,075, transmitância visível de 0,898, refletância visível externa de 0,898, refletância visível interna de 0,081, transmitância infravermelha de 0, emissividade interna de 0,84, emissividade externa

de 0,84 e condutividade térmica de 0,9 W/m·K. Todos os valores de reflectância, transmitância e emissividade são adimensionais.

O dimensionamento do sistema de ar-condicionado foi realizado por meio da função autosize. Essa propriedade permite a determinação de curvas de desempenho para os equipamentos de climatização, fornecendo os dados necessários para calcular as demandas de potência de refrigeração e aquecimento.

As simulações foram conduzidas sob duas condições de rotina de utilização, levando em conta o forro com e sem isolamento térmico e a presença ou ausência do sombreamento causado pela vizinhança. Os resultados apresentam a carga térmica de resfriamento e de aquecimento para as diferentes condições analisadas, bem como a estimativa total do consumo de energia elétrica.

As simulações foram caracterizadas da seguinte forma:

Caso A: Resfriamento do ambiente, com ocupação predominante no período noturno.

Caso B: Aquecimento do ambiente, com ocupação predominante no período diurno.

Caso C: Resfriamento do ambiente, com ocupação predominante no período noturno.

Caso D: Aquecimento do ambiente, com ocupação predominante no período diurno.

Para todos os casos, foram avaliadas as seguintes configurações:

- (a) Com sombreamento lateral.
- (b) Com sombreamento lateral e com isolamento no forro.
- (c) Sem sombreamento lateral.
- (d) Sem sombreamento lateral e com isolamento no forro.

Em suma, o procedimento metodológico seguiu uma sequência estruturada, iniciando-se com a construção do modelo geométrico da edificação no Google SketchUp. Em seguida, realizou-se o levantamento das propriedades termofísicas dos materiais de construção, a fim de caracterizar adequadamente os elementos opacos e transparentes no ambiente de simulação. Posteriormente, foram definidos os períodos de ocupação da edificação, considerando rotinas distintas de uso. Na etapa seguinte, procedeu-se à configuração dos parâmetros de simulação do sistema de ar condicionado, com ajuste das condições operacionais e dos setpoints de controle. Por fim, foram executadas as simulações no EnergyPlus, obtendo-se as potências de aquecimento e de resfriamento, bem como o consumo de energia elétrica mensal e anual da edificação, para os Casos A, B, C e D previamente definidos.

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados das simulações realizadas. Serão exibidos os valores da carga térmica de resfriamento e da carga térmica de aquecimento, ambos expressos em BTU/h. Para a manutenção do conforto térmico do ambiente, foram consideradas as temperaturas de 22 °C para aquecimento e 24,5 °C para resfriamento, conforme recomendações da ASHRAE (2013). Sempre que a temperatura do ambiente estiver abaixo de 22 °C, o sistema de aquecimento será acionado, e quando estiver acima de 24,5 °C, o sistema de resfriamento será ativado, de acordo com os horários de utilização indicados na Tabela 1. Assim, o sistema de ar-condicionado será acionado automaticamente sempre que os limites de temperatura forem excedidos.

Para fins de organização, os resultados são apresentados conforme Rotina 1 e Rotina 2. A Rotina 1 representa uma habitação que permanece total ou parcialmente vazia durante o dia e é ocupada à noite, sendo nesse período que o ar-condicionado é utilizado. Já a Rotina 2 representa uma ocupação predominante ao longo do dia. O tempo de utilização do sistema é o mesmo para ambas as rotinas, diferenciando-se apenas pela

incidência da radiação solar, tomando a carga térmica dependente exclusivamente das condições externas do ambiente.

Os resultados estão organizados nas seguintes tabelas:

- Tabela 3: Carga térmica de resfriamento – Rotina 1
- Tabela 4: Carga térmica de aquecimento – Rotina 1

- Tabela 5: Carga térmica de resfriamento – Rotina 2

- Tabela 6: Carga térmica de aquecimento – Rotina 2

Os dados apresentados indicam que, devido às condições climáticas da região, a carga térmica de resfriamento é mais elevada entre os meses de novembro e março, enquanto a carga térmica de aquecimento é mais significativa entre abril e outubro.

Tabela 3 – Propriedades dos materiais construtivos da habitação

Mês	Com sombreamento (Figura 2)	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento (Figura 3)	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	1717,21	938,23	1759,50	968,57
Fevereiro	1576,92	1045,84	1611,00	1062,37
Março	620,62	275,13	643,48	291,99
Abril	179,84	46,49	190,75	51,58
Maio	15,58	0,47	17,32	0,63
Junho	0	0	0	0
Julho	0,02	0	0,043	0
Agosto	21,95	2,39	22,93	2,40
Setembro	29,81	8,36	31,84	8,37
Outubro	327,89	54,78	343,36	59,29
Novembro	703,17	274,73	726,22	286,11
Dezembro	773,20	235,81	804,54	253,19
Dezembro	962,49	667,20	985,07	300,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 4 – Carga térmica de aquecimento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	133,91	63,11	142,24	430,16
Fevereiro	296,49	181,19	306,97	886,32
Março	658,26	432,81	679,11	199,58
Abril	2116,88	1563,71	2153,53	507,45
Maio	3451,45	2695,77	3494,20	845,44
Junho	3688,62	2973,94	3738,54	911,08
Julho	4414,31	3487,05	4461,43	1071,10
Agosto	5043,20	3898,68	5084,78	1210,49
Setembro	3838,77	3077,95	3878,25	961,94
Outubro	2073,92	1607,84	2107,74	504,63
Novembro	1232,16	897,52	1257,86	454,94
Dezembro	962,49	667,20	985,07	300,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Nos casos sem isolamento térmico, os valores de carga térmica para aquecimento se mantêm semelhantes. No entanto, com a inclusão do isolamento térmico, observa-se uma redução no consumo de energia térmica. Além disso, considerando a habitação com isolamento térmico e com sombreamento proveniente das edificações vizinhas, os valores de consumo energético são ainda menores. Essa redução ocorre porque uma parte significativa da carga térmica de aquecimento provém da radiação solar, e a presença de sombreamento limita essa contribuição. Os resultados referentes à Rotina 1 estão ilustrados nas Figuras 6 e 7.

Considerando a Rotina 1 de ocupação, os resultados para a carga térmica de resfriamento indicam que os casos sem isolamento do forro apresentam maior demanda térmica. Já os casos com isolamento demonstram uma redução na carga térmica para resfriamento. Esses resultados são coerentes com o esperado em edificações, pois o isolamento térmico tem como objetivo minimizar o consumo de energia térmica.

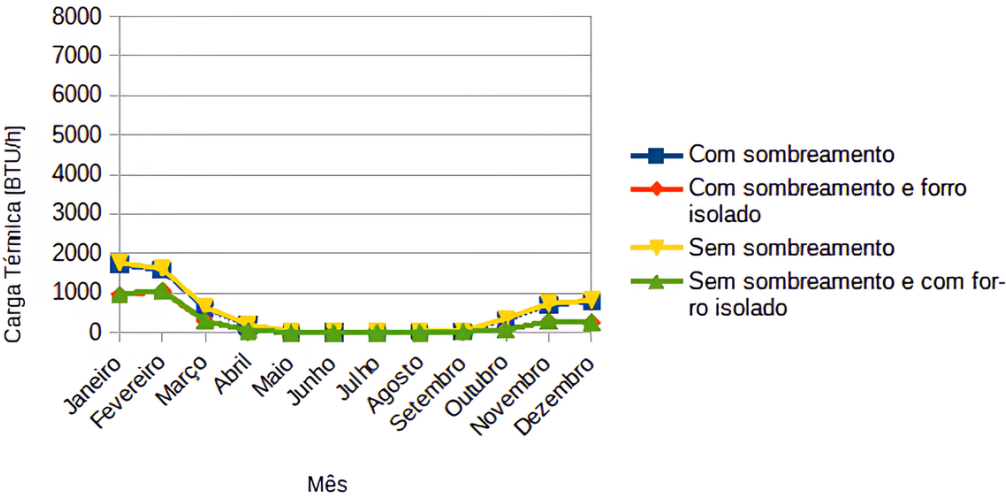
Observa-se que, para a Rotina 1, o sombreamento da vizinhança não tem impacto significativo nos resultados. Isso ocorre porque a maior parte da ocupação acontece durante a noite, período em que a radiação solar não influencia diretamente o

ambiente interno, tornando o consumo de energia para resfriamento independente da presença de sombreamento externo.

A Rotina 2 representa uma ocupação predominante ao longo do dia, o que significa que toda a carga térmica sofre interferência da irradiação solar. Para

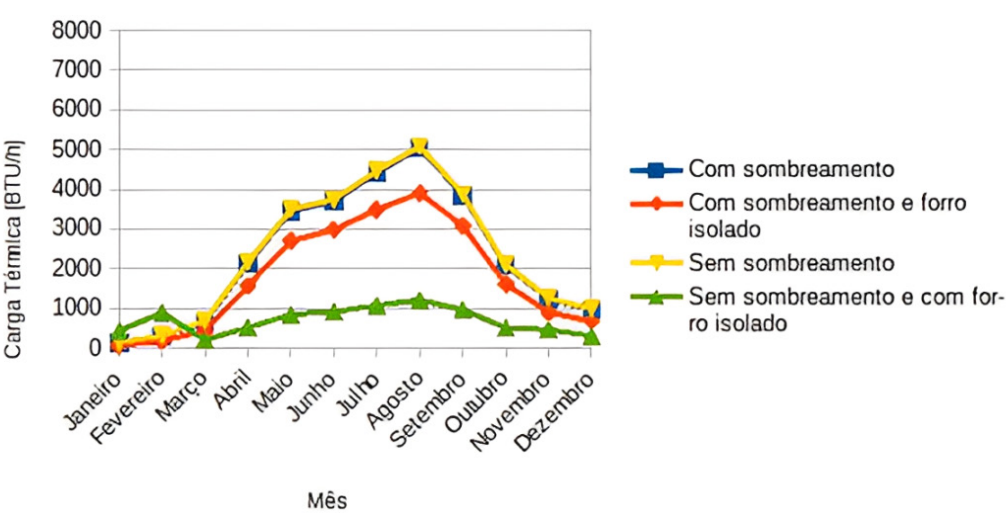
a carga térmica de resfriamento, os casos sem isolamento térmico apresentaram maior demanda energética, enquanto os casos com isolamento mostraram uma redução significativa na carga térmica. Além disso, nos casos com isolamento térmico e sombreamento, os menores índices de carga térmica para resfriamento foram registrados.

Figura 6 – Carga térmica de resfriamento. Carga térmica mensal necessária para o resfriamento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 7 – Carga térmica de aquecimento. Carga térmica mensal necessária para o aquecimento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As diferenças médias anuais de carga térmica para refrigeração, se comparados com o caso com sombreamento e com isolamento térmico, foram as seguintes:

- 180,31% menor no caso sem sombreamento,
- 168,87% menor no caso com sombreamento,
- 21,99% menor no caso sem sombreamento, mas com isolamento térmico.

Para a carga térmica de aquecimento, não houve diferença significativa entre os valores obtidos. Isso pode ser atribuído ao fato de que, ao longo do tempo e nos horários indicados para a utilização do ambiente, a incidência solar foi suficiente para auxiliar na manutenção do conforto térmico e na redução da demanda de aquecimento. Além disso, as temperaturas mais elevadas ao longo do dia, típicas do clima local, ajudaram a manter o ambiente aquecido, diminuindo o consumo de energia para essa finalidade. Outro fator relevante é que, nos dados climáticos utilizados, houve uma menor ocorrência de dias de inverno, especialmente dias nublados e encobertos.

Tabela 5 – Carga térmica de resfriamento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	6698,53	2906,92	6895,56	3415,15
Fevereiro	5578,29	2333,52	5751,48	3235,28
Março	2893,93	840,68	3049,16	1343,94
Abril	786,87	163,75	856,52	292,96
Maiο	167,49	21,42	189,74	52,88
Junho	9,062	0,01	13,19	0
Julho	62,33	6,49	71,32	10,23
Agosto	116,30	36,52	125,19	38,79
Setembro	278,73	144,79	300,304	104,73
Outubro	1569,29	461,18	1659,36	461,32
Novembro	2909,77	801,69	3044,28	1040,17
Dezembro	3171,26	1299,19	3317,38	1003,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 6 – Carga térmica de aquecimento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	6,38	7,73	6,68	3,15
Fevereiro	25,46	41,65	24,91	21,53
Março	73,55	111,98	73,70	63,97
Abril	553,13	712,98	541,08	526,06
Maio	1730,45	2010,84	1684,56	1709,13
Junho	3241,80	3325,90	3206,35	2996,04
Julho	4044,53	4031,16	4007,88	3719,09
Agosto	3568,18	3913,18	3489,55	3557,92
Setembro	1966,78	2537,84	1901,01	2194,06
Outubro	442,50	750,73	429,32	566,90
Novembro	190,56	338,64	184,50	230,16
Dezembro	84,28	142,32	83,46	80,97

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados confirmam que isolamento térmico e sombreamento reduzem as cargas de aquecimento e resfriamento. No entanto, esses efeitos também dependem de fatores urbanos. Recuos entre edificações, altura máxima e áreas permeáveis podem alterar a ventilação natural e a radiação solar incidente. Assim, observa-se que os ganhos obtidos nas simulações podem ser ampliados em contextos urbanos planejados de forma a favorecer a eficiência energética.

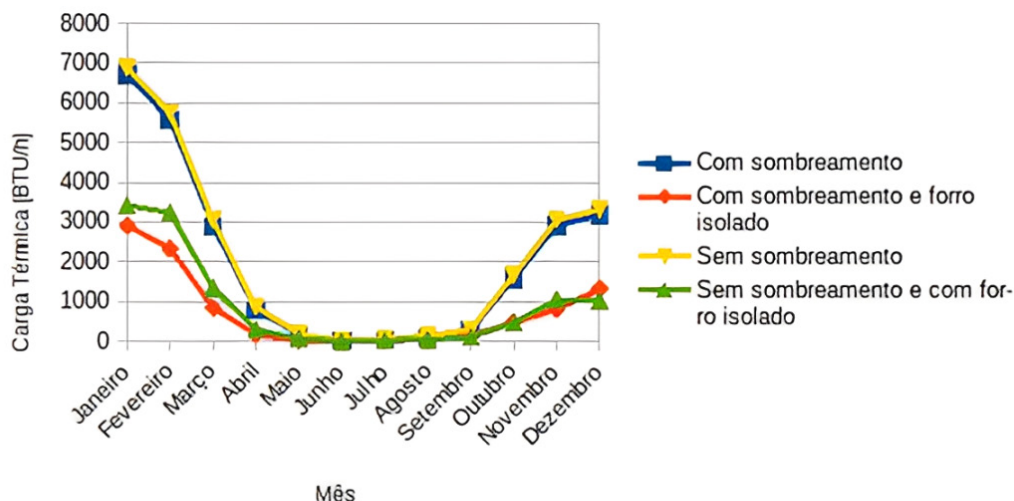
Os maiores consumos foram identificados para resfriamento na Rotina 2 e aquecimento na Rotina 1. Isso confirma a influência da utilização do

ambiente no consumo energético:

- Na Rotina 1, as temperaturas mais baixas ao longo da noite aumentam a necessidade de aquecimento.
- Na Rotina 2, as temperaturas mais altas durante o dia elevam a demanda de resfriamento.

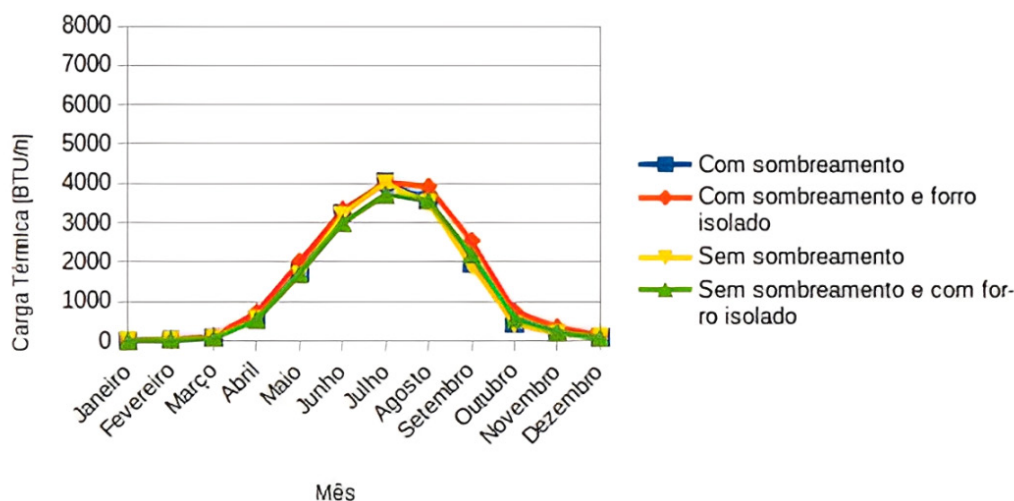
Por fim, o sombreamento demonstrou maior impacto na Rotina 1 em relação ao aquecimento e na Rotina 2 nos casos de resfriamento, evidenciando sua influência na regulação térmica da edificação.

Figura 8 – Carga térmica de resfriamento. Carga térmica mensal necessária para o resfriamento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 9 – Carga térmica de aquecimento. Carga térmica mensal necessária para o aquecimento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os consumos de energia elétrica para as médias mensais de cada caso analisado são apresentados na Tabela 7. Os resultados indicam que o consumo de energia elétrica é mais eficiente (ou seja, apresenta menor consumo) na configuração da Rotina 2, com forro isolado, mas sem sombreamento na residência.

É importante destacar que os valores representam uma média anual, abrangendo períodos de aquecimento e resfriamento do ambiente. A incidência solar nas paredes auxilia na redução da carga térmica de aquecimento, enquanto o isolamento térmico no forro minimiza perdas térmicas excessivas, contribuindo para a eficiência

energética.

O maior consumo energético foi registrado na configuração sem sombreamento e sem isolamento térmico, para a ocupação correspondente à Rotina 1. Esses resultados reforçam a importância

do isolamento térmico do forro, uma vez que essa superfície estabelece trocas térmicas diretas com a atmosfera e recebe radiação solar direta. Portanto, quando o objetivo é a economia energética da edificação, o isolamento térmico do forro se mostra um elemento fundamental.

Tabela 7 – Média mensal de consumo energético. Média de consumo energético considerando o cômputo de resfriamento e aquecimento ao longo do ano. Consumo elétrico dos equipamentos HVAC em kWh

	Com sombreamento sem isolamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento e sem isolamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Rotina 1	209,20	155,01	211,83	145,07
Rotina 2	115,79	123,34	113,76	109,43

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os padrões de ocupação residencial podem variar conforme a cultura local. Papakostas e Sotiropoulos (1997) identificaram que a ocupação total da habitação (100% dos membros familiares presentes) ocorre apenas entre 22h e 6h. Já a ocupação acima de 80% ocorre, em média, entre 17h e 7h. Além disso, os autores observaram que algumas atividades seguem padrões específicos de horário: assistir televisão ocorre predominantemente à noite, limpeza da casa ocorre no final da manhã, cozinhar acontece entre 10h e 12h e novamente entre 18h e 21h, enquanto lavar roupas segue os mesmos períodos da atividade de cozinhar. Já o hábito de tomar banho é mais frequente no período noturno. Considerando essas características, a Rotina 1 representa de forma satisfatória a rotina típica de uma família.

O impacto dos hábitos dos ocupantes na carga térmica da residência tende a ser reduzido em construções sem isolamento térmico. Meester et al. (2013) demonstraram que a influência dos ocupantes na carga térmica do ambiente torna-se

significativa apenas quando há isolamento térmico eficaz, reduzindo a interferência do ambiente externo. Dessa forma, o detalhamento dos hábitos dos moradores se torna essencial para edificações com isolamentos eficientes, que bloqueiam as trocas térmicas com o exterior.

No Brasil, os projetos residenciais, em geral, possuem pouca efetividade de isolamento térmico para aquecimento ou resfriamento. Invidiata e Ghisi (2016) indicam que as residências brasileiras devem ser projetadas priorizando a economia de energia para resfriamento, uma vez que há mais dias quentes do que frios ao longo do ano. Esse enfoque favorece uma maior economia energética relacionada ao resfriamento dos ambientes.

Estudos sobre o efeito das edificações vizinhas no consumo energético foram conduzidos por Ascione et al. (2020). O estudo buscou identificar o grau de detalhamento necessário na modelagem computacional dessas edificações para prever corretamente a influência do sombreamento ainda na fase de projeto. Os autores concluíram que a

influência do sombreamento varia conforme o grau de exposição da edificação ao sol. Dessa forma, a modelagem da interação com o meio externo depende de diversos fatores, como a configuração arquitetônica e o nível de sombreamento existente.

4. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do sombreamento no consumo energético de uma habitação unifamiliar, com foco na análise das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento dos ambientes. Considerando que os equipamentos de ar-condicionado representam um consumo energético significativo e que a climatologia externa influencia diretamente sua operação, foram analisadas as cargas térmicas nos quartos e na sala, que possuem sistemas de condicionamento de ar instalados. A investigação levou em conta a incidência direta da radiação solar e a presença de elementos externos de sombreamento, localizados nas paredes laterais da edificação, devido à proximidade com construções vizinhas.

O estudo teve como objetivo principal investigar a influência do sombreamento da vizinhança nas paredes laterais da habitação, bem como a utilização de isolamento térmico no forro. Para isso, foram consideradas duas rotinas de ocupação e duas configurações construtivas, abordando casos com e sem forro isolado e com e sem sombreamento lateral, para situações de ocupação diurna e noturna.

Os resultados indicaram que uma ocupação predominantemente diurna resulta em maior carga térmica de resfriamento. Já para o aquecimento do ambiente, a rotina diurna não apresentou diferença significativa em relação à presença de sombreamento ou isolamento térmico do forro. No entanto, na rotina com uso predominantemente noturno, a carga térmica de aquecimento tem um impacto mais expressivo. Além disso, a presença de sombreamento teve um efeito mais relevante na redução da carga térmica de resfriamento.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram os achados da literatura, evidenciando que

fatores climáticos possuem grande influência no desempenho térmico e energético da edificação. O isolamento térmico se mostrou efetivo tanto para aquecimento quanto para resfriamento, reduzindo o consumo energético em diferentes condições. Um planejamento construtivo adequado pode minimizar os efeitos de elementos externos, como paredes ou muros vizinhos, melhorando a posição solar da edificação e favorecendo áreas de ventilação natural.

A análise da influência do sombreamento, do isolamento térmico e da rotina de ocupação na carga térmica da edificação reforça que esses fatores impactam diretamente a demanda por aquecimento e resfriamento. O sombreamento lateral reduz significativamente a necessidade de resfriamento diurno, minimizando a incidência solar direta sobre a construção. O isolamento térmico no forro atua na redução das trocas de calor com o ambiente externo, diminuindo tanto a carga térmica de aquecimento quanto a de resfriamento. Por fim, a rotina de ocupação influencia os períodos de maior demanda energética, sendo que uma ocupação diurna aumenta a necessidade de resfriamento, enquanto uma ocupação predominantemente noturna eleva a demanda por aquecimento. A combinação desses fatores permite otimizar o consumo de energia e melhorar a eficiência térmica da edificação.

A análise mostra que a eficiência energética em habitações não depende apenas de soluções construtivas. A inclusão de critérios de conforto térmico e eficiência nos coeficientes urbanísticos pode melhorar a ventilação, equilibrar a radiação solar e reduzir o efeito de ilhas de calor. Recomenda-se que planos diretores municipais considerem indicadores energéticos na definição de parâmetros de ocupação e aproveitamento do solo, fortalecendo os resultados obtidos em estudos de simulação. Parâmetros como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, recuos e altura máxima interferem na ventilação natural, na incidência de radiação solar e no sombreamento entre edificações, impactando diretamente as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento. Recomenda-se que planos diretores e leis de uso

e ocupação do solo adotem critérios técnicos de desempenho térmico (por exemplo, relações entre altura e distância que evitem sombreamento excessivo), de modo a potencializar o efeito do isolamento do forro e a efetividade de estratégias de sombreamento conforme o padrão de uso (diurno/noturno) observado. Essa integração entre projeto da edificação e regulação urbana tende a reduzir picos de carga, melhorar o conforto térmico e promover eficiência energética em escala de bairro.

5. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ANNIBALDI, V., CUCCHIELLA, F., BERARDINIS, P., GASTALDI, M., & ROTILIO, M. An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency in heritage buildings. *Journal of Cleaner Production*, v. 251, 119516, 2020.

ASCIONE, F., BIANCO, N., IOVANE, T., MASTELLONE, M., MAURO, G.M. Is it fundamental to model the inter-building effect for reliable building energy simulations? Interaction with shading systems. *Building and Environment*, v. 183, 107161, 2020.

ASHRAE. Handbook - Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2013.

ASHRAE. Climate Design Conditions. Disponível em: <https://ashrae-meteo.info/v2.0/>. Acesso em: 17 de dezembro de 2024.

BHOWMIC, A., MODAK, M., CHAK, M., Mohammad, N. IoT-Based Home Energy Management System to Minimize Energy Consumption Cost in Peak Demand Hours. 10th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS), pp. 1-6, 2023.

CHEN, S., ZHANG, G., XIA, X., CHEN, Y., SETUNGE, S., & SHI, L. The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, pp. 101212, 2021.

ENERGY PLUS. Weather Data. Disponível em:

https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA/BRA_RS_Santa_Maria.839360_TNMET. Acesso em: 17 de dezembro de 2024.

INVIDIATA, A., GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. *Energy and Building*, v.130, p. 20-32, 2016.

KAMALUDIN, M. Electricity Consumption in Developing Countries. *Asian journal of social sciences and humanities*, 2, 84-90, 2013.

KAMIMURA, M.K., GNECCO, V.M., GIARETTA, R.F., Fossati, M. Edificações de Energia Zero: Uso das Cores Como Estratégia para a Redução do Consumo de Energia. *Mix Sustentável*, v.6, n.2, p.99-110, 2020.

KAZANCI, O., OLESEN, B.. Thermal Indoor Environment and Energy Consumption in a Plus-energy House: Cooling Season Measurements. *Energy Procedia*, 78, pp. 2965-2970, 2015.

LEVINSON, R. Using solar availability factors to adjust cool-wall energy savings for shading and reflection by neighboring buildings. *Solar Energy*, 2019.

MAFTOUNI, N., KIANA, M. Optimization of Cooling and Heating Loads in a Residential Building in a Hot and Dry Climate. *Journal of Mechanical Engineering*, v. 50, p. 215-224, 2020.

MATHEW, P., GREENBERG, S., FRENZE, D., MOREHEAD, M., SARTOR, D., STARR, W. Using measured equipment load profiles to "right-size" HVAC systems and reduce energy use in laboratory buildings (Pt. 2). Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.

MEESTER, T., MARIQUE, A-F., HERDE, A., REITER, S. Impacts of occupant behaviors on residential heating consumption for detached houses in a temperature climate in the northern part of Europe. *Energy and Building*, v.57, p. 313-323, 2013.

PAPAKOSTAS, K.T., SOTIROPOULOS, B.A. Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. *Energy and Building*, v. 26, p. 207-213, 1997.

PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., POUT, C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, v. 40, n.3, p. 394-398, 2008.

PROZUMENTS, A., STAVECKIS, A., ZEMITIS, J., & BAJARE, D.. Evaluation of Heating and Cooling Loads for a Well-Insulated Single-Family House under Variable Climate Pattern. *Environmental and Climate Technologies*, v.25, p. 750 - 763, 2021.

SAKIYAMA, N.R.M., MAZZAFERRO, L., CARLO, J.C., BEJAT, T., GARRECHT, H. Dataset of the Energyplus model used in the assessment of natural ventilation potential through building simulation. *Data in Brief*, v. 34, 2021.

SIEGEL, R.; HOWELL, J. R. *Thermal Radiation Heat Transfer*. 4. ed. New York: Taylor & Francis, 2002.

SHAN, X., LU, W., & HUI, S.. Dynamic Performance of Indoor Environment and Energy Consumption of Air Conditioning System under Intermittent Mode. *Energy Procedia*. v. 158, p. 3821-3826, 2019.

SUKARNO, I., MATSUMOTO, H., SUSANTI, L. Household lifestyle effect on residential electrical energy consumption in Indonesia: On-site measurement methods. *Urban Climate*, 20, 20-32, 2017.

THOMAS, S., ROSENOW, J. Drivers of increasing energy consumption in Europe and policy implications. *Energy Policy*, v. 137, 2020.

YU, S., CUI, Y., XU, X., FENG, G. Impact of Civil Envelope on Energy Consumption Based on Energy Plus. *Procedia Engineering*, v. 121, p. 1528-1534, 2015.

WU, T., ZHOU, X., LU, Y., HU, S. The Influence of Occupancy Change on the Change of Heating and Cooling Energy Consumption in Residential Buildings - A Case Study of Nanjing. *Building Simulation Conference Proceedings*. 2023.