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

Análise do Impacto da Ocupação Sobre a Temperatura Interna do Ar de um Apartamento no Semiárido

Análisis del impacto de la ocupación en la temperatura del aire interior de un apartamento en la región semiárida

Analysis of the Impact of Occupancy on the Internal Air Temperature of an Apartment in the Semi-Arid Region

Área temática / *Área temática / Thematic Area*

AMORIM, Rafael Ponce de Leon
Me., Arq. e Urb., IFPB, João Pessoa, Brasil, faelponce@hotmail.com

FERNANDES, Leandro Carlos
Dr., Arq. e Urb., UFPR, Curitiba, Brasil, leandrofernandes@ufpr.br

DIAS, Kimberly Gabriela Angelo
Me., Arq. e Urb., UFPR, Curitiba, Brasil, kimberly.ufpr@gmail.com

LEDER, Solange Maria
Dra., Arq. e Urb., UFPB, João Pessoa, Brasil, solangeleder@yahoo.com.br

SORGATO, Marcio José
Dr., Arq. e Urb., UTFPR, Curitiba, Brasil, sorgato@professores.utfpr.edu.br

FONTÃO, Pedro Augusto Breda
Dr., Geógrafo, UFPR, Curitiba, Brasil, pedrofontao@ufpr.br

FERNANDES, Thiago Leal Hoelscher
Graduando em Arq. e Urb., UFPR, Curitiba, Brasil, thiagolealfernandes@hotmail.com

Resumo

Este artigo relata a parte final de uma pesquisa constituída por duas etapas. Na primeira etapa, foram comparados dois métodos para estimativa dos valores da temperatura interna do ar de um apartamento *desocupado*. A segunda etapa, aqui relatada, avaliou o impacto da *ocupação* sobre os valores da temperatura interna do ar do mesmo apartamento. Para isso, valores estimados para a temperatura do ar do apartamento na condição *desocupado* foram comparados com os valores medidos quando o apartamento esteve *ocupado*. A comparação mostrou que a ocupação impactou positivamente o desempenho térmico do apartamento, reduzindo o aquecimento. Observou-se redução dos valores da temperatura interna e aumento na média dos valores da amplitude térmica diária devido à promoção da ventilação natural. O experimento também validou o método estimativo, possibilitando comparar os valores da temperatura interna do ar de contextos sem e com ocupação.

Palavras-chave: Estimativa de temperaturas internas. Desempenho térmico. Conforto térmico.

Resumen

Este artículo tuvo como objetivo evaluar el impacto de la ocupación en los valores de temperatura del aire interior de un apartamento. Para ello se compararon los valores estimados de la temperatura del aire del apartamento en estado desocupado con los valores medidos cuando el apartamento estaba ocupado. La comparación mostró que la ocupación influyó positivamente en el rendimiento térmico del apartamento, reduciendo la calefacción. Se observó una reducción en los valores de temperatura interna y un aumento en los valores de amplitud térmica media diaria debido a la promoción de la ventilación natural. El experimento también validó el método de estimación, permitiendo comparar los valores de la temperatura del aire interior de contextos sin ocupación con los valores cuando hay ocupación.

Palabras clave: Estimación de temperaturas internas. Desempeño térmico. Confort térmico.

Abstract

This paper aimed to evaluate the impact of occupation on the internal air temperature of one apartment. For this purpose, estimated values for the air temperature of the apartment in unoccupied conditions were compared with the values measured when the apartment was occupied. The comparison showed that occupancy positively impacted the apartment's thermal performance, reducing heating. A reduction in internal temperature values and an increase in the average daily temperature range values were observed due to the promotion of natural ventilation. The experiment also validated the estimation method, making it possible to compare the values of the internal air temperature of contexts without occupation with the values when occupation occurs.

Keywords: Estimation of internal temperatures. Thermal performance. Thermal comfort.

Introdução

Com o avanço das pesquisas na construção civil, cada vez mais se consolida a ideia de que os moradores ou ocupantes possuem um papel central no desempenho térmico das edificações (Sorgato; Melo; Lamberts, 2016). Em edificações naturalmente ventiladas, a ação dos usuários possui potencial para regulação das condições internas (De Dear; Brager; Cooper, 1997). Considerando as diversas atividades realizadas internamente e as possibilidades de controle do ambiente interno, o comportamento dos ocupantes é uma das principais incertezas na previsão do uso de energia no setor residencial (De Dear *et al*., 2017).

Basicamente, as principais linhas de pesquisa considerando os usuários são: a focando a ocupação e a focando a operação. A primeira é mais voltada para o monitoramento das atividades que são realizadas, os cômodos que são ocupados, os movimentos dos usuários, os horários etc. O segundo grupo de pesquisas foca em questões como a operação de aberturas, dos dispositivos para sombreamento, dos equipamentos para iluminação, do ajuste de termostatos, do uso de eletrodomésticos e do ajuste de vestimentas (Carlucci *et al*., 2020). Diante da sua importância, o tema vem ganhando cada vez mais interessados. Uma amostra desse interesse é o projeto da Agência Internacional de Energia, que possui o objetivo de promover a consideração da ocupação e do comportamento dos ocupantes no processo de projeto e no funcionamento das edificações a fim de melhorar o desempenho energético destas e o conforto dos ocupantes (International Energy Agency, 2018).

Neste contexto, uma das lacunas a ser preenchida é a dos chamados padrões de ocupação, utilizados em simulações computacionais (Azar *et al*., 2020). Contudo, para se obter padrões de ocupação realistas, que não simplifiquem excessivamente o comportamento dos usuários e considerem os diversos fatores envolvidos nesse comportamento (culturais, climáticos etc.), muitas pesquisas precisam ser realizadas. Uma alternativa às linhas de pesquisas citadas é, ao invés de focar no tipo de ocupação ou nas possibilidades de operação, focar no resultado em se tratando do comportamento dos valores da temperatura interna da edificação. Essa abordagem pode colaborar para a compreensão do papel dos ocupantes e, principalmente, do impacto das ações promovidas por eles nas temperaturas internas.

Objetivo

Este artigo relata a segunda etapa de uma pesquisa que teve como objetivo avaliar o impacto da ocupação sobre a temperatura interna do ar de um apartamento no clima semiárido.

Método

A pesquisa adotou o método experimental. Comparou-se os resultados de um a) caso controle (apartamento desocupado) com os resultados obtidos com o b) caso experimental (apartamento ocupado por seus moradores). Por não ser possível obter dados para os dois contextos nos mesmos dias, em uma etapa anterior da pesquisa, os dados da temperatura interna dos dias nos quais o apartamento esteve desocupado foram utilizados para calibrar e testar um método estimativo dos valores da temperatura interna do ar. Na etapa aqui relatada, os valores estimados para a temperatura interna do ar (sem ocupação) foram comparados com os valores medidos (com ocupação).

Município de Aracati e seu clima

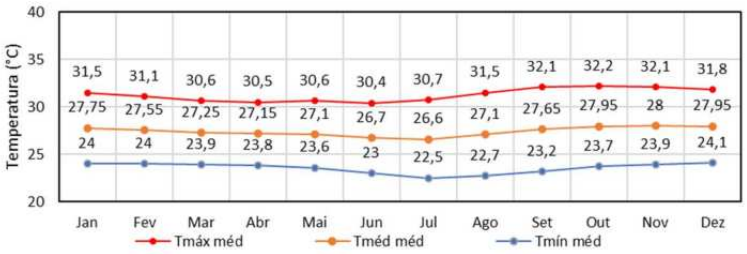
Aracati está localiza no estado do Ceará (Figura 1). Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, apresenta clima tropical de savana (As). Possui latitude -4,562°, longitude -37,77° e está a 5 m acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 27,4 °C (Figura 2) e a média anual das amplitudes térmicas diárias é de 8,2 °C (Roriz, 2012).

Figura 1 – Aracati, Ceará.



Fonte: Editado a partir de https://pt.wikipedia.org/.

Figura 2 - Estimativa das médias das temperaturas mínimas, médias e máximas mensais para Aracati/CE.



Fonte: (RORIZ, 2012).

Edificação monitorada e equipamentos para monitoramento

A unidade habitacional está localizada no segundo piso de um edifício multifamiliar com dois pavimentos, cobertura em laje mista e telha de fibrocimento sem beiral. A envoltória é composta por alvenaria de tijolo cerâmico com 8 furos pintada na cor branca. Todas as paredes externas estão afastadas dos limites do lote. O apartamento possui 67 m2 e é composto por dois quartos, dois banheiros, sala, cozinha, área de serviço e varanda (Figura 3).

Os sensores de temperatura do ar (Figura 4) foram instalados na sala de estar (sensor interno), onde apenas a parede sudeste está exposta ao ambiente externo, e na face sudoeste do apartamento (sensor externo), próximo do closet, em uma haste projetada para o exterior.

Figura 3 - Planta Baixa da unidade habitacional.



Fonte: Os autores.

Figura 4 - Sensor de temp. e umidade do ar modelo HOBO U12 e abrigo meteorológico modelo RS1 (ONSET).



Fonte: https://www.onsetcomp.com.

Os dois aparelhos (externo e interno) registram automaticamente dados de temperatura e umidade do ar. Os equipamentos são da marca ONSET, modelo HOBO U12 (Figura 4), com precisão de ±0,35 °C na faixa de temperatura entre 0 °C e 50 °C e precisão de ±2,5% na faixa de umidade do ar entre 10% e 90%. No ambiente externo, para proteção contra a ação da radiação solar e das intempéries, o sensor foi instalado dentro de um abrigo meteorológico modelo RS1 (Figura 4), também da ONSET.

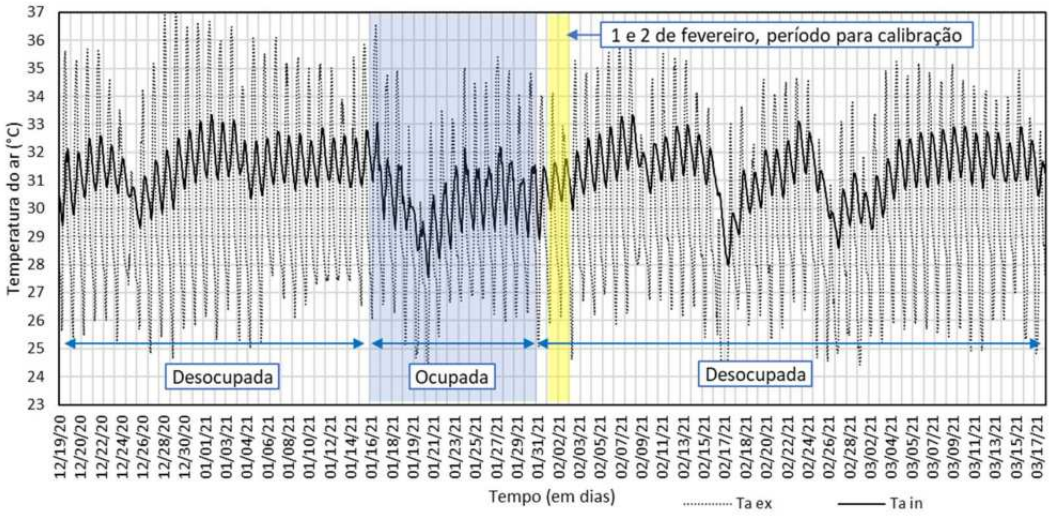
Períodos monitorados

Nesta pesquisa, conta-se com dados de temperatura do ar do exterior e do interior. O apartamento foi monitorado por 89 dias. Destes, permaneceu desocupado por 74 dias e ocupado por 14 dias. O monitoramento teve início no dia 18/12/2020 e foi finalizado no dia 18/03/2021. Os dados dos dias de instalação e retirada dos equipamentos foram descartados. Desta maneira, foram obtidos dados de temperatura do ar de todas as horas do período do dia 19/12/2020 até o dia 17/03/2021, totalizando 89 dias (Figura 5). De 19/12/2020 até 15/01/2021 a residência permaneceu desocupada. Os moradores permaneceram na residência do dia 16/01/2021 até o dia 30/01/2021. A partir desse momento a edificação permaneceu desocupada até o final do monitoramento.

Para calibrar o modelo para estimativa das temperaturas horárias foram utilizados os dias 01/02/2021 e 02/02/2021. O dia 31/02/2021 foi descartado por se considerar que neste dia o comportamento térmico da edificação ainda poderia estar influenciado pela presença recente dos moradores. Os dias um e dois de fevereiro foram escolhidos para calibração porque estão localizados no centro do período monitorado.

Para avaliar o modelo preditivo, foram utilizados o período anterior e o período posterior à presença dos moradores, 19/12/21 - 15/01/21 e 03/02/21 - 17/03/21. Os resultados do primeiro dia de cada um dos períodos foram descartados porque, conforme as orientações para aplicação do método, são dias para autoajuste do modelo (Fernandes, 2018).

Figura 5 - Período com monitoramento dos valores das temperaturas interna e externa.



Fonte: Os autores.

Estimativa dos valores horários da temperatura interna

Inicialmente, o método de Fernandes foi apresentado aplicado a dados de temperatura de células-teste (Fernandes *et al*., 2015a; Fernandes *et al*., 2015b). O método se baseia em taxas de variação dos valores horários da temperatura interna em função da diferença em relação aos valores da temperatura externa. A variação estimada é somada com o valor da temperatura interna calculado previamente, resultando em uma estimativa interativa (temperatura estimada anteriormente + variação estimada para o valor da temperatura do momento de interesse). São utilizados valores médios para as taxas de variação dos valores horários da temperatura interna, calculados a partir de dados internos e externos medidos. As estimativas são realizadas a partir da Equação 1.

$$T_{in}^{t} = T_{in}^{t-1} + \alpha(T_{ex}^{t} - T_{in}^{t-1}) \qquad \text{Equação 1}$$

Na qual: t é a unidade de tempo (horas); T_{in}^{t} é a temperatura interna do ar na hora t (°C); T_{in}^{t-1} é a temperatura interna do ar na hora anterior, t -1 (°C); T_{ex}^{t} é a temperatura externa do ar na hora t (°C) e; α é a taxa de variação dos valores da temperatura interna do ar de uma hora para a hora seguinte, que pode assumir dois valores diferentes, um para quando a

temperatura externa do ar é mais alta do que a interna e outro para quando a temperatura externa do ar for mais baixa do que a interna.

Os valores médios de α para uma edificação são obtidos com a Equação 2. Maiores detalhes sobre a utilização deste método são apresentados por Krüger et al. (2017) e Fernandes (2018).

$$\alpha = \frac{T_{in}^{t} - T_{in}^{t-1}}{T_{ex}^{t} - T_{in}^{t}} \qquad \text{Equação 2}$$

Procedimentos para comparar os valores da temperatura interna na condição "sem ocupação" com os valores na condição "com ocupação"

Esta segunda etapa da pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto da ocupação sobre os valores da temperatura interna do ar do apartamento. Para isso, na etapa anterior, ocorreu a validação do método para estimativa dos valores horários da temperatura interna para a condição "apartamento desocupado". Nesta etapa, os valores estimados para a temperatura do apartamento desocupado foram comparados com os valores da temperatura medida durante o período com ocupação.

Para realizar essa comparação foram realizados os seguintes procedimentos: **1)** Plotagem conjunta dos valores da temperatura interna referentes às duas condições (sem ocupação e com ocupação) para verificação de padrões gráficos; **2)** Delimitação de um período com condições climáticas estáveis (24 de janeiro até 30 de janeiro) e cálculo dos seguintes parâmetros para cada condição (sem ocupação e com ocupação): temperatura máxima absoluta (T máx abs); média das temperaturas máximas diárias (T máx méd); média das temperaturas do período (T méd); temperatura mínima absoluta (T mín abs); média das temperaturas mínimas diárias (T mín méd); amplitude térmica diária máxima (Atd máx); e média das amplitudes térmicas diárias do período (Atd méd); e **3)** Verificação da ocorrência de aquecimento utilizando o coeficiente de dissemelhança (CD).

Para verificar a ocorrência de aquecimento ou resfriamento no interior da edificação relativamente ao ambiente externo, foi adotado o coeficiente de dissemelhança (CD). O CD mede o deslocamento da média diária dos valores da temperatura interna em relação à média diária dos valores da temperatura externa. Em ambientes desprovidos de artifícios para aquecimento ou resfriamento, as médias diárias das temperaturas interna e externa serão muito próximas e o valor de CD será próximo de zero. Se o valor do CD for diferente de zero, algum aspecto da edificação está gerando aquecimento (CD > 0) ou resfriamento (CD < 0) (Fernandes, 2018).

Para o cálculo do CD (Equação 3), devem ser utilizados dados de períodos com clima estável (sem entrada de frentes frias ou ondas de calor). Para análise, podem ser adotados CD de dias específicos ou o CD médio de um conjunto de dias estáveis (Fernandes, 2018). Nesta pesquisa, foram calculadas as médias dos valores dos CD para o período de 24/jan até 30/jan para os dois contextos de interesse, sem ocupação e com ocupação.

$$CD = \left(\frac{T_{in\ méd} - T_{ex\ mín}}{T_{ex\ méd} - T_{ex\ mín}}\right) - 1 \qquad \text{Equação 3}$$

Na qual: CD é o coeficiente de dissemelhança; $T_{in\ méd}$ é a temperatura interna média; $T_{ex\ méd}$ é a temperatura externa média e; $T_{ex\ mín}$ é a temperatura externa mínima.

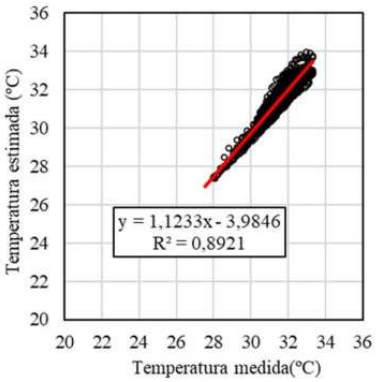
Resultados

Na primeira etapa da pesquisa, as temperaturas internas do ar medidas e estimadas foram comparadas com o objetivo de validar o modelo estimativo (Figura 6). Foi dada especial atenção para os meses de janeiro e fevereiro, período que também continha os 14 dias nos quais o apartamento permaneceu ocupado. Considerando somente os meses centrais (janeiro e fevereiro) e o período sem ocupação, a diferença máxima entre os valores medidos e estimados foi de 1,14 °C; a diferença média foi de 0,35 °C; o desvio padrão foi de 0,22 °C; o coeficiente de correlação (R) foi 0,94 e o coeficiente de determinação (R^2) foi 0,89. Estes resultados foram tomados como satisfatórios para validação do método estimativo.

A Figura 7 apresenta as temperaturas medidas (nos ambientes externo e interno) e estimados (para o ambiente interno). Quando observados os períodos sem ocupação, à esquerda e à direita no gráfico (Figura 7), percebe-se que os valores da temperatura estimada para o ambiente interno apresentam boa concordância com os valores da temperatura medida. A linhas da temperatura interna apresentam menos oscilação, contrastando com a linha da temperatura externa, que oscila de maneira pronunciada.

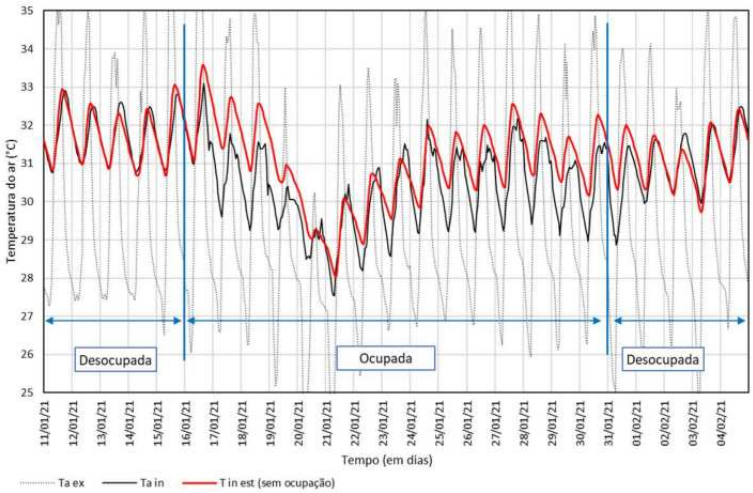
Por outro lado, os valores da temperatura medida, quando o apartamento esteve ocupado, na parte central do gráfico (Figura 7), tendem a divergir dos valores da temperatura estimada (sem ocupação). Quando com ocupação, as temperaturas tendem a apresentar máximas menores e mínimas mais baixas. No gráfico, a linha das temperaturas com ocupação apresenta um formato “trêmulo”, consequência da entrada de ar do exterior devido ao abrir e fechar de portas e janelas e da incidência de radiação solar devido à operação das cortinas.

Figura 6 – Relação entre as temp. internas do ar do período desocupado (medidas versus estimadas) para os meses de janeiro e fevereiro de 2021.



Fonte: Os autores.

Figura 7 - Temperatura externa medida e temperaturas internas medida e estimada.



Fonte: Os autores.

Quando analisado todo o período no qual o apartamento esteve ocupado, de 16/01 até 30/01, percebe-se que a parte inicial desse período foi de instabilidade, com a entrada de uma frente fria alterando os padrões das temperaturas externa e interna. A fim de concentrar a análise na parte estável do período, a Tabela 1 apresenta as temperaturas (máximas, médias e mínimas) e amplitudes térmicas diárias do ambiente exterior e do interior do apartamento, nos contextos sem ocupação (temperatura simulada) e com ocupação (temperatura medida) para o período de 24/01 até 30/01.

Constata-se que os valores referentes ao ambiente externo apresentam grandes diferenças quando comparados com os valores referentes ao ambiente interno. No entanto, as diferenças entre os valores para as condições sem ocupação (temperatura estimada) e com ocupação (medida) são sutis. Percebe-se que a ocupação resultou em uma redução de 0,7 °C no valor da temperatura média (de 31,3 °C para 30,6 °C) e de 1,1 °C nas médias das temperaturas mínimas (de 30,3 °C para 29,2 °C). Também cabe destacar que os valores da amplitude térmica diária do apartamento com ocupação foram maiores do que sem ocupação.

Tabela 1 - Temperaturas (máx., méd. e mín.) e amplitudes térmicas diárias do exterior e do interior do apartamento (desocupado e ocupado) no período de 24/01 até 30/01.

	Exterior	Ap. desocupado	Ap. ocupado
T máx abs (°C)	35,5	32,6	32,2
T máx méd (°C)	34,8	32,1	31,6
T méd (°C)	29,8	31,3	30,6
T mín abs (°C)	26,0	29,8	29,0
T mín méd (°C)	26,4	30,3	29,2
Amp máx (°C)	9,2	2,2	3,0
Amp méd (°C)	8,4	1,8	2,5

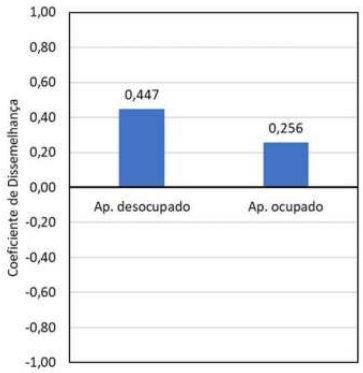
Fonte: os autores.

A fim de verificar o deslocamento dos valores da temperatura média diária interna em comparação com os valores da temperatura média diária externa, indicando aquecimento ou resfriamento, foram calculados os coeficientes de dissemelhança (CD) para os dois contextos, “sem ocupação” e “com ocupação” (Figura 8). Os valores dos CD indicaram que nos dois contextos avaliados ocorreu aquecimento, sendo que o contexto com ocupação apresentou CD com valor menor do que o do contexto sem ocupação. Ou seja, para o período analisado, a ocupação resultou em uma melhora no desempenho térmico da edificação.

Por fim, a Figura 9 apresenta os valores medidos das temperaturas externa e interna (com ocupação) e os valores estimados para a temperatura interna (sem ocupação) no dia 25 de janeiro de 2021. Em praticamente todo o tempo, os valores da temperatura interna do ar na condição “com ocupação” permanecem menores do que os valores na condição “sem ocupação”. Porém, em dois momentos as temperaturas da condição “com ocupação” apresentam leves aumentos, diferindo da tendência observada para a maior parte do dia: próximo do horário do meio-dia (possivelmente em função do preparo do almoço) e próximo das 20:00 horas (possivelmente devido ao calor gerado em função do preparo do jantar).

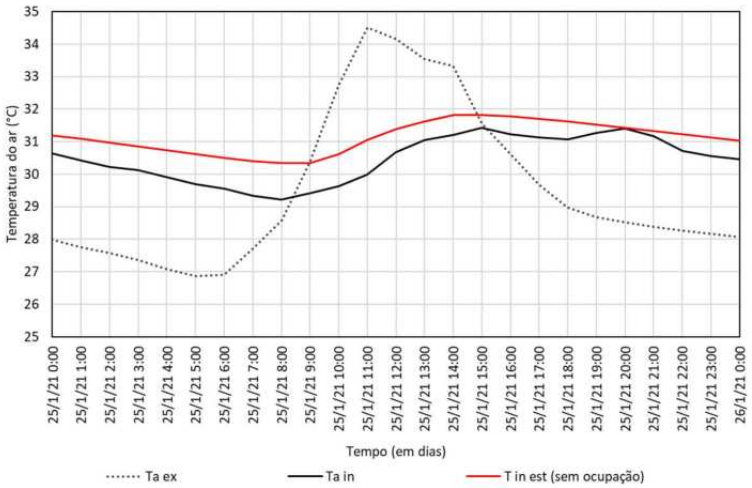
Constata-se também que, observando os valores das temperaturas medidas, durante a noite a temperatura externa esteve em patamares mais baixos do que a interna. Essa diferença poderia ser explorada mais intensivamente para reduzir os valores da temperatura interna. O fato de isso não ter acontecido pode indicar problemas no projeto ou na operação da edificação. Talvez, devido ao fato de a cobertura do apartamento ser constituída de telha cerâmica + câmara de ar + laje, o resfriamento radiativo noturno do sistema de cobertura não seja suficientemente efetivo, resultando em acúmulo de energia térmica na laje. Mesmo ocorrendo ventilação natural durante a noite, a temperatura do ar interno permaneceu acima da temperatura do ar externo.

Figura 1 – Médias dos coeficientes de dissemelhança para as condições "sem ocupação" e "com ocupação" (período 24/01 - 30/01).



Fonte: Os autores.

Figura 9 – Temperaturas medidas, externa e interna (com ocupação), e simulada (sem ocupação) no dia 25 de janeiro de 2021.



Fonte: Os autores.

Considerações finais

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto da ocupação sobre os valores da temperatura interna do ar de um apartamento no clima semiárido. Observou-se que a ocupação impactou positivamente o desempenho térmico do apartamento, reduzindo o aquecimento. Ocorreram divergências entre os valores da temperatura interna do apartamento vazio (estimados) e os valores da temperatura interna do apartamento ocupado (medidos). A ocupação reduziu a temperatura interna média (de 31,3 °C para 30,6 °C) e a média dos valores da temperatura mínima (de 30,3 °C para 29,2 °C). Com ocupação, o apartamento também apresentou uma média dos valores da amplitude térmica diária maior do que sem ocupação, provavelmente devido à promoção da ventilação natural.

Os resultados mostraram ainda que os valores estimados e medidos concordaram fortemente para o apartamento sem ocupação, validando o método estimativo como uma ferramenta com grande potencial para apoiar pesquisas experimentais, possibilitando comparar os comportamentos térmicos de edificações desocupas e ocupadas.

Como limitação, ressalta-se que esta pesquisa utilizou dados de um período curto e não permite generalizações. Para estudos futuros, sugere-se estender a aplicação do método testado, aplicando-o a conjuntos de dados mais longos e de diferentes estações climáticas.

Referências bibliográficas

AZAR, E. *et al*. Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. **Energy and Buildings**, v. 224, p. 110292, 2020.

CARLUCCI, S. *et al*. Modeling occupant behavior in buildings. **Building and Environment**, v. 174, n. December 2019, p. 106768, 2020.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference - Final Report on RP-884**. Sydney: 1997.

FERNANDES, L. C. *et al*. Estimativa de Temperaturas Internas Horárias de Pequenas Edificações a Partir de Temperaturas Externas: Proposta de Método Alternativo. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2015a, Campinas. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2015a.

_____. *et al*. Equações Preditivas de Temperaturas Internas Horárias: Uma Alternativa para Geração de Dados para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social. In: HABITAR 2015 2015b, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 2015b.

_____. **Experimentos de Campo com Teto-Reservatório: Desempenho Térmico e Percepção do Usuário**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IAE. **Occupant behaviour-centric building design and operation EBC Annex 79 International Energy Agency**. IAE, 2018.

KIM, J.; DE DEAR, R.; PARKINSON, T.; CANDIDO, C. Understanding patterns of adaptive comfort behaviour in the Sydney mixed-mode residential context. **Energy Build**, vol. 141, p. 274-283, 2017.

KRÜGER, E. L. *et al*. Proposition of a simplified method for predicting hourly indoor temperatures in test cells. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 57–70, 2017.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1–13, 2016.