INFLUÊNCIA DA OPERAÇÃO DE JANELAS E DE VENEZIANAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIAS

Marina Ribeiro Viana (1); Matheus Mendonça Barbosa (2); Enedir Ghisi (3)
(1) Engenheira Civil, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, viana.r.marina@gmail.com
(2) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, matheusmendonca.b@gmail.com
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis – SC, 88040-970.

RESUMO
O usuário interage com o ambiente construído de diferentes maneiras, com a manipulação de componentes e com os horários de ocupação. O comportamento do usuário exerce impacto direto no desempenho térmico de edificações. Assim, entender a influência do usuário é de suma importância a fim de buscar melhores modelos para representar o comportamento destes em simulações térmicas para a predição de desempenho. O objetivo deste artigo é investigar o impacto das variações no comportamento do usuário, quanto à operação de janelas e de venezianas, no desempenho térmico de uma edificação residencial sob a ótica dos indicadores de desempenho propostos na NBR 15575 (ABNT, 2021). O método da pesquisa consistiu em simulações computacionais de uma residência unifamiliar térrea para as cidades de Curitiba, Aracaju e Teresina. Foram estabelecidos seis perfis de comportamento do usuário a partir da variação no modo de abertura das janelas e de operação das venezianas apresentado pela referida norma para a realização das simulações. Temperatura operativa máxima e mínima; percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) e carga térmica foram os indicadores analisados. Percebeu-se que os perfis adotados provocaram variações nos indicadores citados, a citar a diferença de 13% no PHFT ao considerar diferentes critérios de abertura de janelas. Entretanto, de maneira geral, indicadores foram mais sensíveis à variação da abertura de janelas do que as alterações no modo de acionamento das venezianas.

Palavras-chave: comportamento do usuário, desempenho térmico, janela, venezianas.

ABSTRACT
Interactions between built environment and users take on different forms, through the manipulation of components and occupancy schedules. Occupant behaviour has a direct impact on building thermal performance. Therefore, understanding the user's influence is crucial to improve user modelling in thermal performance simulation. This paper aims to investigate the effects of occupant behaviour variations, specifically regarding the operation of windows and blinds, on the thermal performance of residential buildings using performance indicators according to NBR 15575 (ABNT, 2021). The research method consisted of computational simulations for a single-family house in Curitiba, Aracaju and Teresina. Six occupant behaviour profiles were established based on variations in the window opening mode and blind operation shown in NBR 15575 for simulation purposes. Maximum and minimum annual operative temperature, percentage of occupied hours within a temperature range (PHFT) and thermal load were the indicators analysed. Distinct occupant profile caused variations in such indicators, such as a difference of 13% in PHFT when considering different window opening criteria. However, in general, indicators were more sensitive to variations in window opening than changes in blind operation mode.

Keywords: occupant behaviour, thermal performance, window, blind.

1. INTRODUÇÃO

Analisar o desempenho térmico e energético das edificações é essencial para a adoção de estratégias que proporcionem a minimização do consumo de energia e o conforto ambiental durante a fase de uso e ocupação. Nesse sentido, as simulações computacionais são ferramentas úteis para predição do desempenho do ambiente construído. Ao considerar os parâmetros de simulação, a utilização de dados que modelem o comportamento do usuário é fundamental a fim de que os resultados obtidos sejam mais assertivos (BALVEDI et al., 2018; MARKOVIC et al., 2017).

O comportamento dos usuários compreende o padrão de ocupação da edificação e as múltiplas interações destes com componentes do ambiente, tais como: operação de janelas e persianas, manipulação de equipamentos, sistemas de iluminação e de condicionamento artificial. Devido à complexa interação dos ocupantes com o meio, é crucial que os dados de simulação se baseiem em modelos realistas desse usuário, pois essa variável pode influenciar na recorrentemente diferença entre os consumos estimados e reais (*performance gap*) observada na literatura (O'BRIEN et al., 2020; EBUY et al., 2023; BALVEDI et al., 2018).

Diversos estudos investigaram a influência do usuário no desempenho de edificações. Franceschini e Neves (2020) avaliaram o impacto de quatro diferentes padrões de operação de janelas em edificações escolares nos parâmetros temperatura operativa, percentual de horas ocupadas em conforto e graus-hora de resfriamento e de aquecimento, como resultado observaram diferença de 38% quando observados os valores para graus-hora a depender do padrão de abertura considerado. Balvedi et al. (2018) construíram três perfis de comportamento dos usuários baseados em dados de monitoramento de residências multifamiliares localizadas em Florianópolis. Tais perfis se diferenciavam quanto ao padrão de ocupação, à operação de cortinas/persianas e à operação de janelas. Sobre a análise do impacto dos diferentes comportamentos do usuário, os autores concluíram que as mudanças dos usuários acarretaram variação de 130% nos resultados de graus-hora aquecimento e de resfriamento (BALVEDI et al., 2018).

Apesar da importância em considerar os usuários como dados de entrada das simulações de desempenho térmico, percebe-se a adoção de modelos simplificados de ocupantes se comparado à realidade, especialmente quanto ao consumo de energia (O'BRIEN et al., 2017). Entretanto, modelar o comportamento do usuário é um desafio, uma vez que depende de preferências/hábitos individuais que variam conforme as condições internas e externas do ambiente, além de fatores contextuais. Assim, deve-se entender as motivações que influenciam na decisão de interagir com os sistemas da edificação por meio de um estudo multidisciplinar que envolva diferentes áreas, como ciências sociais, psicologia, engenharia (WEERASINGHE, ROTIMI, RASHEED, 2023; EBUY et al.; 2023).

Uma das maneiras mais eficientes de promover a melhoria do desempenho térmico de edificações é por meio da criação de códigos ou normas, pois é estabelecido um conjunto de requisitos e critérios mínimos de eficiência de sistemas e componentes das construções. Porém, os aspectos dos ocupantes são relativamente mais complexos de serem considerados nesses documentos, uma vez que se trata do uso futuro da edificação (EVANS; ROSHCHANKA; GRAHAM, 2017). Sob esse aspecto, O'Brien et al. (2020) desenvolveram uma revisão que envolveu a análise de 23 códigos e normas de diferentes regiões e observaram que os usuários são representados de forma simplista e não acompanharam os avanços da literatura, o que pode induzir erros na avaliação do desempenho. Assim, fizeram recomendações para a atualização como a adoção de múltiplos perfis de usuário, a consideração do comportamento adaptativo do usuário, a atualização dos padrões de ocupação e da operação dos sistemas.

No Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece um conjunto de requisitos e critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. Como destacado por Sorgato, Melo e Lamberts (2014), o método de simulação proposto na versão anterior (2013) apresentava limitações quanto às condições de uso, uma vez que não considerava a influência das cargas térmicas internas. Em 2021, com a publicação da revisão da norma de desempenho, o método de simulação estabelecido contemplou as cargas relativas à ocupação, ao uso de equipamentos e do sistema de iluminação, além de prever um padrão para operação de janelas de acordo com critérios de temperatura e o uso de condicionamento artificial nos períodos em que a ventilação natural não é suficiente.

Krelling et al. (2023) analisaram o impacto das modificações na densidade e no padrão ocupação nos resultados da avaliação de desempenho conforme o método proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2021). No estudo, foi possível perceber que os indicadores apresentaram pequena variação com a alteração dos perfis ao considerar a simulação da residência operando com ventilação natural, todavia, quando avaliado o uso do condicionamento artificial, observou-se aumento da carga térmica. Assim, concluíram que o procedimento estabelecido na norma de desempenho consegue absorver certas variabilidades do comportamento do usuário,

porém os autores indicam investigar outras dinâmicas de interação ambiente/usuário como a operação de janelas e equipamentos.

Destarte, investigar o impacto dos diferentes comportamentos do usuário no resultado da avaliação do desempenho térmico de edificações é fundamental para compreender maneiras mais eficazes de modelar esses parâmetros nas simulações preditivas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto da variação do comportamento do usuário no desempenho térmico, especificamente a operação de janelas e de venezianas, em edificações residenciais conforme critérios e indicadores propostos na NBR 15575 (ABNT, 2021).

3. MÉTODO

O método utilizado no trabalho divide-se nas seguintes etapas:

1. Definição das cidades a serem utilizadas na simulação de modo a compreender os três intervalos da temperatura média anual de bulbo seco propostos pela NBR 15575 (ABNT, 2021);
2. Caracterização dos perfis de usuário a fim de representar diferentes comportamentos de interação com janelas e venezianas;
3. Modelagem do objeto de estudo conforme parâmetros do modelo de referência proposto na NBR 15575 (ABNT, 2021) e com a consideração da variação do perfil do usuário;
4. Simulação e análise dos resultados conforme indicadores da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Portanto, o desenvolvimento desse estudo consistiu na realização de simulações computacionais no *software EnergyPlus*, versão 22.1, com o auxílio do *plug-in Euclid* no *SketchUp* para a modelagem geométrica da edificação.

3.1. Caracterização das cidades avaliadas

Os critérios avaliativos da NBR 15575 (ABNT, 2021) diferem a depender dos intervalos de enquadramento da média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m), conforme a análise dos dados do arquivo climático utilizado. Assim, selecionou-se uma cidade representativa de cada um dos intervalos definidos no escopo normativo (Tabela 1), a fim de considerar variações climáticas nos resultados da avaliação. As cidades selecionadas foram: Curitiba, Aracaju e Teresina e os arquivos climáticos utilizados foram os do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibilizados na base de dados padrão (LABEEE, 2020).

A Tabela 1 apresenta características climáticas das cidades selecionadas: média anual da temperatura externa de bulbo seco, a zona bioclimática (ABNT, 2005), o clima de acordo com Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013), além do intervalo de temperatura externa proposto pela norma de desempenho (ABNT, 2021).

Tabela 1 – Caracterização climática das cidades

UF	Cidade	Intervalo de temperaturas externas	TBS_m	Zona Bioclimática	Classificação Köppen-Geiger
PR	Curitiba	Intervalo 1 (TBS_m < 25°C)	17,5°C	1	Temperado com verão ameno (Cfb)
SE	Aracaju	Intervalo 2 (25ºC ≤ TBS_m < 27°C)	26,6°C	8	Tropical Monções (Am)
PI	Teresina	Intervalo 3 (TBS_m ≥ 27°C)	28,0°C	7	Tropical com inverno seco (Aw)

3.2. Definição dos perfis de comportamento do usuário

A definição do perfil de comportamento do usuário, para fins desse trabalho, consistiu na variação da abertura de janelas e no acionamento de venezianas. Essa determinação visa investigar diferentes modos de interação com as aberturas e elementos de proteção para comparar com o modelo estabelecido na norma NBR 15575 (ABNT, 2021).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta um modelo de simulação com ventilação natural que estabelece um padrão de abertura de janelas mediante ocupação do ambiente de permanência prolongada e a consideração de critérios de temperatura. Assim, as janelas são programadas para abrir quando a temperatura de bulbo seco (TBS) interna do ambiente específico for igual ou superior a 19ºC e quando for superior à temperatura de bulbo seco externa. Para as venezianas, a norma também condiciona a abertura a critérios de temperatura. Portanto, as venezianas abrem quando a temperatura externa de bulbo seco for menor ou igual a

26ºC e são mantidas fechadas caso contrário. É necessário destacar que a janela do ambiente de permanência transitória, no objeto de estudo seria o banheiro, foi mantida aberta como recomendado pela norma.

Para definir os perfis do usuário, buscou-se combinar a interação com venezianas e janelas com o critério de ocupação. Como observado por Oliveira, Lader e Leão (2018), a literatura geralmente condiciona a operação das aberturas a fatores ambientais de temperatura, porém o resultado da pesquisa dos referidos autores demonstrou que para edificações residenciais em climas quentes, a abertura e o fechamento das janelas estão mais associados a fatores de segurança, como momentos que os usuários não estão em casa ou estão dormindo. Deste modo, além do padrão estabelecido pela norma, definiu-se padrões que considerassem apenas a presença do usuário na edificação como fator de abertura de janelas.

Foram definidos dois critérios para abertura de janela: temperatura e ocupação, para as venezianas considerou-se dois cenários: acionamento segundo critério de temperatura e venezianas sempre fechadas. No total, seis perfis foram adotados com a combinação dos critérios para abertura de venezianas e janelas (Figura 1). Os perfis 1 e 3 representam os critérios estabelecidos pela NBR 15575 para edificação sem e com venezianas, respectivamente. Os demais são alterações ao padrão normativo.

Comportamento	Símbolo	Critério	Condição
Abertura de janela		Temperatura	A janela do ambiente abre se o ambiente for ocupado e se a TBS Interna for maior ou igual a 19ºC e maior que a TBS Externa.
		Ocupação da residência	Se houver ocupação na residência, todas as janelas dos ambientes de permanência prolongada estarão abertas.
Acionamento de veneziana		Temperatura	Abertura se TBS Externa menor ou igual a 26ºC Fechamento se TBS Externa maior que 26ºC
		Sempre fechada	Veneziana permanece sempre fechada.

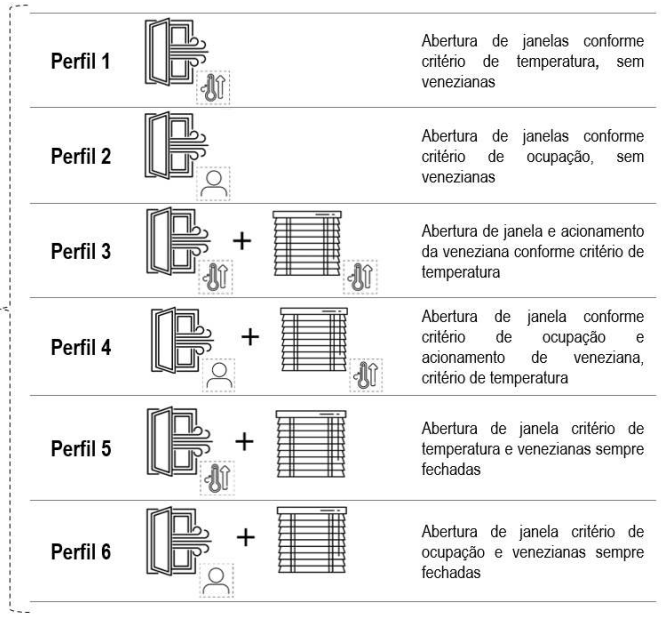

Figura 1 – Perfis do comportamento do usuário

3.3 Modelo de simulação e tipologia estudada

O objeto de estudo foi uma edificação residencial térrea com área útil 35,30 m² (Figura 1). Foram analisadas três zonas térmicas que correspondem aos ambientes de permanência prolongada (APPs): quarto 1, quarto 2 e sala com cozinha conjugada.

A construção do modelo de simulação baseou-se no procedimento de simulação computacional para avaliação de desempenho térmico recomendado na NBR 15575 (ABNT, 2021). A modelagem da ocupação considerou quatro usuários (dois ocupantes por quarto), em que o único período sem usuários na residência é das 8h às 14h, como pode ser observado na Figura 2c. Quanto à consideração das cargas internas, também se adotou o prescrito na norma em relação a pessoas, equipamentos e densidade de potência instalada de iluminação. A caracterização das cargas térmicas internas e o padrão de uso dos equipamentos e do sistema de iluminação foi apresentado na Tabela 2.

Foram definidos para envoltória, materiais com propriedades térmicas correspondentes ao modelo de referência estabelecido pela NBR 15575. Salienta-se que para os casos simulados na cidade de Aracaju, por fazer parte da zona bioclimática 8 (ABNT, 2005), foi adicionada na cobertura uma camada de isolante com resistência térmica equivalente a 0,67 (m².K) /W, conforme recomendado no escopo normativo.

Os elementos transparentes estão localizados nas fachadas com orientações norte e sul. Seu dimensionamento respeitou o percentual normativo, ou seja, a área de elementos transparentes em cada APP corresponde a 17% da área do piso do APP específico. A caracterização dos materiais da envoltória e dos elementos transparentes foi apresentada nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

As únicas alterações realizadas no procedimento de simulação estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2021) foram quanto à operação de janelas e à utilização de venezianas, justamente o parâmetro objetivo de análise deste trabalho, o qual seguiu as definições de comportamento apresentadas na seção anterior (Figura 1). Sob esse aspecto, foi necessária a configuração de venezianas no objeto "*WindowMaterialBlind*" do *EnergyPlus*. As propriedades deste componente foram descritas na Tabela 5.

Tabela 2 – Cargas térmicas internas

Zona térmica	Pessoas	Equipamentos		Iluminação	
	Taxa metabólica [W/m²]	Potência instalada [W]	Período de uso	Densidade de potência instalada [W/m²]	Período de uso
Quarto 1 Quarto 2	45	-	-	5	06:00 – 07:59 22:00 – 23:59
Sala	60	120	14:00 – 21:59	5	16:00 – 21:59

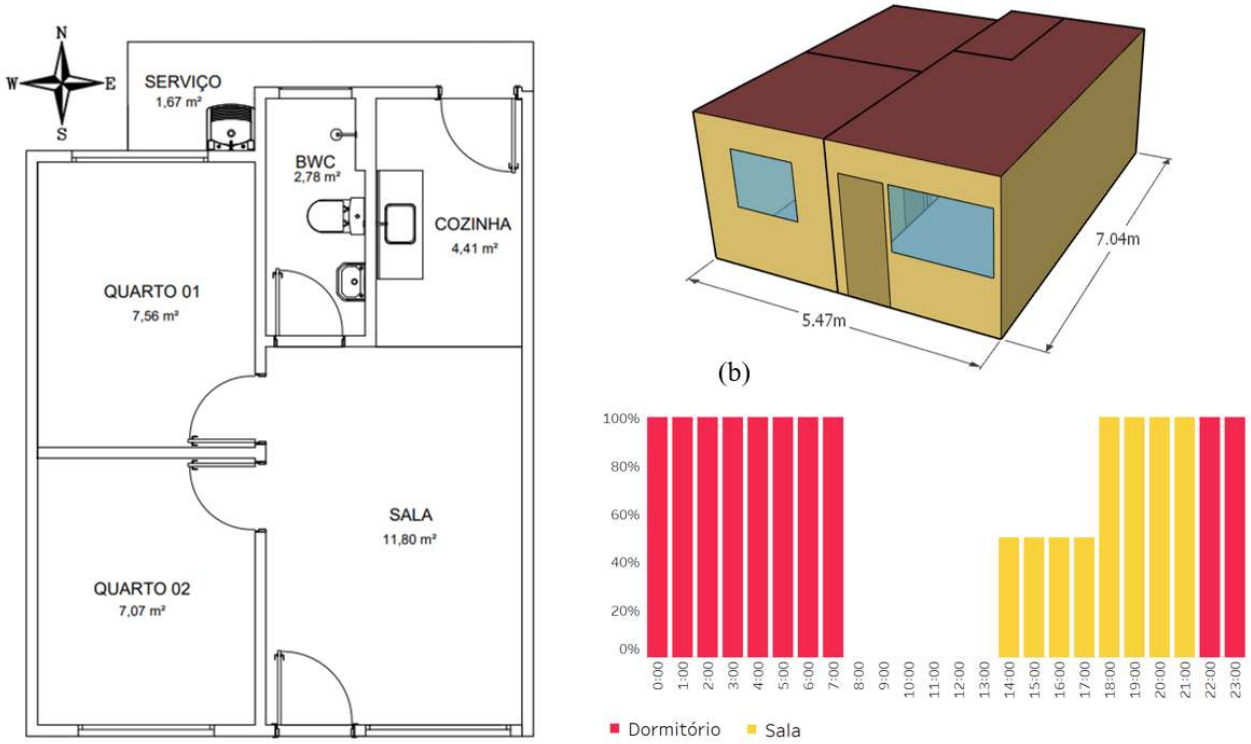

Figura 2 – (a) Planta baixa da edificação. (b) Modelo tridimensional simulado. (c) Padrão de ocupação

Tabela 3 – Propriedades dos materiais da envoltória (ABNT, 2021)

Elemento	Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância
Paredes	Concreto (100 mm)	1,75	1000	Externa: 0,58 Interna: 0,50
Pisos	Concreto (100 mm)	1,75	1000	0,50
Cobertura	Telha de fibrocimento (6 mm)	0,65	840	0,65
	Laje maciça de concreto (100 mm)	1,75	1000	0,50

Tabela 4 – Propriedades dos elementos transparentes

Cômodo	Fator Solar (FS)	Transmitância térmica [W/ (m².K)]
Quarto 01	0,87	5,70
Quarto 02		
Sala		

Tabela 5 – Propriedades das aletas da veneziana

Direção	Ângulo	Condutividade térmica [W/ (m.K)]	Refletância	Emissividade
Horizontal	45°	0,29	0,80	0,90

3.4 Dados de saída e indicadores de desempenho

Foram realizadas simulações com e sem o uso da ventilação natural. Assim, como dados de saída foram obtidas as temperaturas operativas horárias (To) para as simulações com ventilação natural, e a carga térmica de aquecimento e de resfriamento, para as simulações com o uso de condicionamento artificial.

A análise dos dados considerou os indicadores de desempenho para cada caso simulado. Os indicadores analisados foram: percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT); temperatura operativa anual máxima e mínima (Tomáx e Tomín), carga térmica de refrigeração (CgTR), carga térmica de aquecimento (CgTA), carga térmica total (CgTT), em que a carga térmica total é a soma da carga térmica de aquecimento e de refrigeração.

Os cálculos dos indicadores seguem as equações estabelecidas na NBR 15575 (ABNT, 2021). Destaca-se que o cálculo da carga térmica apenas considera os horários em que a residência está ocupada e em que a temperatura operativa, resultante do modelo com ventilação natural, esteja dentro de intervalos específicos, apresentados na Tabela 6. As faixas de temperatura operativa adotadas seguiram as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2021) para cada um dos intervalos.

Embora o fator de variação no comportamento do usuário adotado nesse trabalho, abertura de janelas e de venezianas, impacte mais significativamente no modelo passivo, a consideração do indicador CgTT foi realizada, pois as alterações no perfil do usuário influenciam na temperatura operativa e, consequentemente, na análise horária da carga térmica.

Tabela 6 – Faixas de temperatura operativa consideradas para o cálculo dos indicadores (ABNT, 2021)

Intervalos de TBS_m	Faixa de temperatura operativa considerada		
	Cálculo do PHFT	Cálculo do CgTR	Cálculo do CgTA
Intervalo 1	18ºC < To < 26ºC	To ≥ 26ºC	To ≤ 18ºC
Intervalo 2	To > 28ºC	To ≥ 28ºC	Não considera
Intervalo 3	To > 30ºC	To ≥ 30ºC	Não considera

4. RESULTADOS

4.1 Análise da unidade habitacional

Os dados horários de temperatura operativa e carga térmica gerados pelas simulações foram utilizados para o cálculo dos indicadores de desempenho (Tomáx, Tomín, PHFT, CgTA, CgTR). A Figura 3 mostra as temperaturas operativas anuais mínimas e máximas, ao considerar os períodos de ocupação da unidade habitacional (UH), para cada um dos seis perfis de usuário estudados. Observa-se que os valores de Tomáx apresentaram comportamento uniforme, em que a variação de perfis resultou em uma diferença máxima de 1,19°C para o clima de Aracaju. As demais cidades resultaram em diferenças inferiores a 1°C. Entretanto, a Tomín foi influenciada mais significativamente pela mudança no padrão de abertura de janelas e acionamento de venezianas, com diferença máxima entre perfis de 2,76°C em Curitiba.

A Figura 4 apresenta os percentuais de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa. Os resultados demonstraram duas tendências distintas. Para as cidades de clima quente − Aracaju e Teresina − a abertura de janela condicionada à ocupação (perfis 2, 4 e 6) resultou em uma melhora do PHFT, especialmente em Teresina, cuja temperaturas operativas são maiores. Em Curitiba, o resultado foi oposto, houve uma redução significativa do PHFT quando as janelas foram abertas mediante ocupação da unidade habitacional. Essa divergência pode indicar que a utilização de um usuário padrão, possivelmente não representa o uso real das habitações, visto que existe uma considerável variação climática, social e cultural do Brasil.

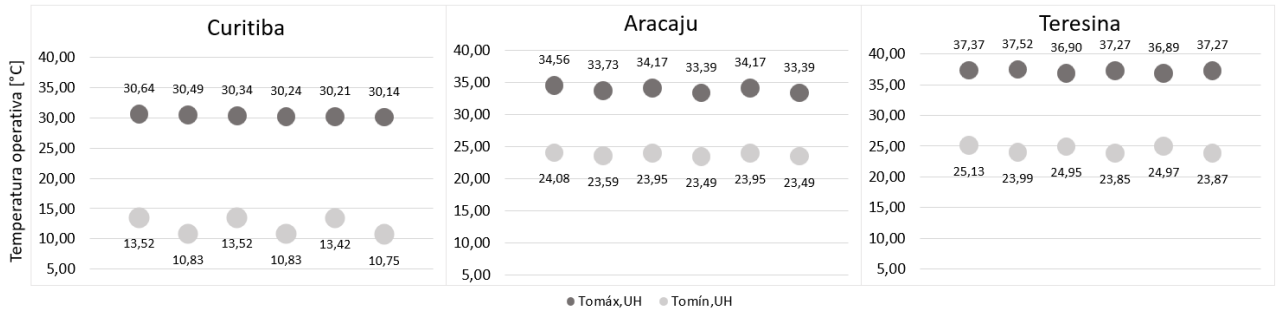

Figura 3 – Temperaturas operativas máximas e mínimas para a unidade habitacional

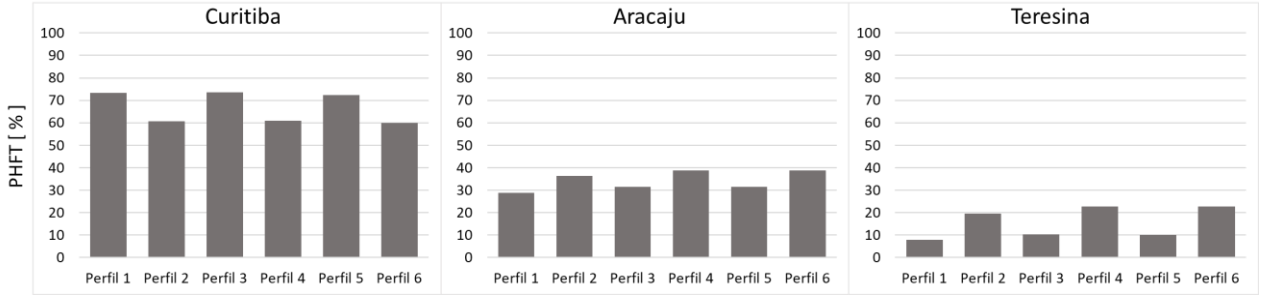

Figura 4 – Percentuais de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa

Os resultados de carga térmica, sintetizados na Figura 5, apresentam relação inversa ao indicador de PHFT, visto que ambos derivam dos dados de temperatura operativa e o cálculo da carga térmica compreende justamente o intervalo de temperatura fora do PHFT. Para as cidades dos intervalos 2 e 3, as cargas térmicas compreendem apenas a parcela de refrigeração e foi expressivamente superior se comparada aos totais obtidos para Curitiba. Quanto à influência do comportamento do usuário, observa-se na Figura 5 que houve redução da CgTR para os perfis 2, 4 e 6. Esse resultado tem relação com o maior tempo de janelas abertas proporcionado nesses perfis de comportamento, pois o critério de abertura é com base na presença do usuário na UH. Assim as janelas de todos os APPs estariam abertas no período de ocupação da residência, o que favorece a utilização da ventilação com estratégia passiva de resfriamento. Entretanto, para a cidade representativa do intervalo 1 – Curitiba, devido à utilização da ventilação natural em maior parte do tempo ter acarretado a redução da temperatura operativa, como mostrado na Figura 4, houve aumento na carga térmica de aquecimento para compensar as horas que ficaram abaixo do limite mínimo da faixa de temperatura operativa definida para o referido intervalo.

A combinação dos resultados pode ser justificada pela característica climática das cidades analisadas. Em Curitiba, por ser uma cidade de clima frio e temperaturas mais baixas, a abertura das janelas condicionada pelo critério de temperatura (perfis 1, 3 e 5), provavelmente, resulta em maior tempo de janelas mantidas fechadas, se comparado aos climas mais quentes de Aracaju e Teresina. Assim, a abertura de janela conforme o critério de ocupação (perfis 2, 4 e 6), teria maior impacto no aumento do período de janelas abertas em cidades cujo clima é mais ameno, o que repercute na redução das temperaturas operativas e do PHFT, e consequentemente no aumento da carga térmica de aquecimento.

Sobre a influência dos modos de interação com os elementos de proteção solar, é interessante comparar as variações do acionamento em relação ao mesmo comportamento de abertura de janelas, a fim de observar o impacto isolado desse componente. Ao comparar o perfil 3 com o perfil 5, variação no acionamento da veneziana para o caso de abertura de janela pelo critério de temperatura, percebe-se que não houve variações significativas no PHFT da UH (Figura 4), a maior diferença foi de 2% para Curitiba. Se comparados os perfis 4 e 6, alterações no modo de fechamento de venezianas para as janelas com abertura mediante ocupação, nota-se a mesma tendência, o máximo de diferença entre os PHFT foi de um 1% também para Curitiba. Entretanto, salienta-se que a presença do elemento de proteção solar impactou positivamente na melhora do PHFT nos climas mais quentes (Aracaju e Teresina). Tal fato pode ser percebido ao comparar os perfis 1 e 2, que simulam as edificações sem venezianas, com os demais cenários.

A Figura 6 mostra os dados horários anual de temperatura de bulbo seco externa para as cidades investigadas com o destaque para a temperatura 26°C, limite para abertura e fechamento das venezianas de acordo com a definição da NBR 15575 (ABNT, 2021). O cruzamento dessas informações evidencia que nas

cidades de Aracaju e Teresina, as venezianas estariam fechadas durante considerável parte do ano, visto que a TBS externa supera limite estabelecido pela norma para fechamento das venezianas (26°C). Assim, o impacto das diferenças entre os perfis de comportamento nos indicadores é minimizado, pois são representadas situações semelhantes de operação. Para Curitiba, que apresenta maior parte do ano com TBS externa inferior a 26°C, as venezianas seriam mantidas abertas para os perfis condicionados à temperatura a maior parte dos dias, consequentemente as diferenças entre acionamento de acordo com a temperatura ou a manutenção das venezianas fechadas são mais expressivas. Tal aspecto pode explicar as variações do PHFT serem mais significativas em Curitiba ao se analisar a influência da interação com as venezianas.

Com a visão combinada dos parâmetros, constatou-se que, de maneira geral, os indicadores de desempenho não foram sensíveis às diferenças nos padrões de comportamento para o acionamento de venezianas adotados para esse estudo, ou seja, condicionar o fechamento das venezianas a uma temperatura específica (perfis 3 e 4) ou mantê-las fechadas durante (perfis 5 e 6) todo o período. Entretanto, as mudanças no comportamento para a abertura das janelas geraram mais impacto sobre os indicadores mencionados.

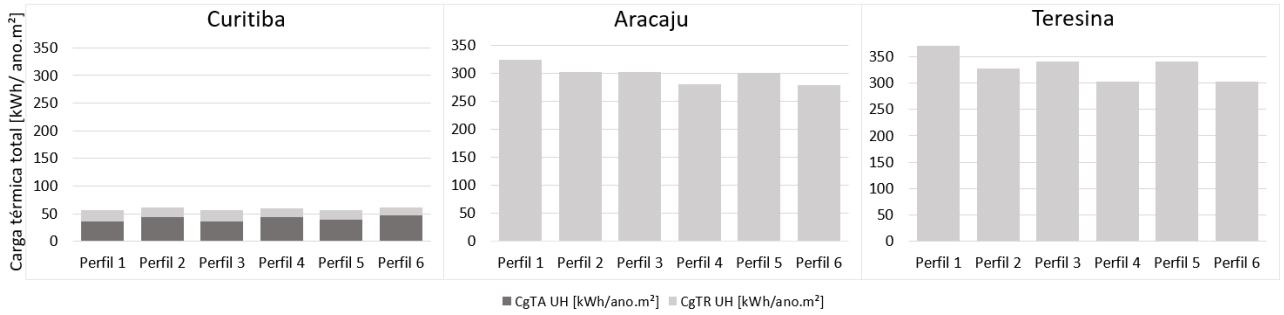

Figura 5 – Cargas térmicas de aquecimento e de refrigeração da unidade habitacional

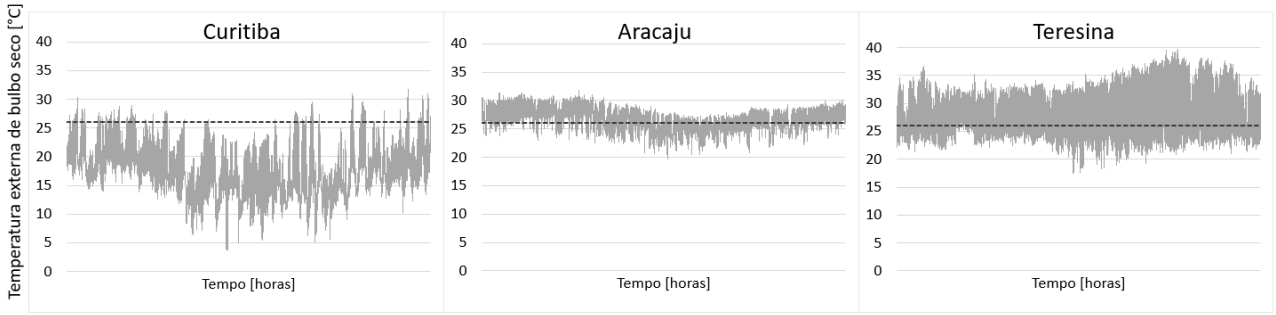

Figura 6 – Variação anual de temperatura de bulbo seco e temperatura limite para acionamento de venezianas

4.2 Análise por ambiente de permanência prolongada

Ao considerar os indicadores de desempenho térmico para unidade habitacional, também é interessante fazer a análise particularizada nos diferentes tipos de ambiente de permanência prologada, uma vez que estes têm ocupações em horários opostos. Enquanto a sala é ocupada durante o turno da tarde e da noite, o quarto é utilizado no final da noite e no início da manhã, conforme apresentado na Figura 2c. Além disso, a sala tem previsão de carga interna derivada de equipamentos, que não é considerada para os quartos. Assim, para fins dessa análise comparativa foram utilizados os resultados dos indicadores PHFT e carga térmica da sala e do quarto 1. Como se pretende entender o impacto da variação do horário de ocupação, optou-se por comparar apenas um dos quartos do objeto de estudo.

A Figura 7 indica o PHFT para cada cidade analisada. Percebeu-se que as cidades dos intervalos 2 e 3, de clima mais quente, apresentaram um maior PHFT nos quartos, todavia em Curitiba, no intervalo 1, o comportamento foi inverso, os maiores valores de PHFT ocorreram na sala. Tal resultado reflete nos valores de carga térmica ilustrados na Figura 8. Para Curitiba, a carga térmica de aquecimento foi superior nos quartos devido às menores temperaturas operativas durante o período de ocupação desse ambiente. Aracaju e Teresina apresentaram maiores somas de carga térmica de refrigeração para a sala, reflexo dos menores percentuais de PHFT, por ser ocupada em período do dia com temperaturas externa mais elevadas.

Os perfis 2, 4 e 6 valorizam a estratégia de ventilação natural, pois mantêm as janelas abertas durante todo o período de ocupação, o que pode contribuir para a perda de calor e, consequentemente, para a redução da carga térmica de refrigeração (Figura 8). Entretanto, para Curitiba que tem clima mais frio, tais perfis

incentivam a ventilação noturna, portanto favorecem a perda de calor no período de temperatura mais amena. Consequentemente, a perda de calor em baixas temperaturas implica no aumento da carga térmica de aquecimento, percebido principalmente nos quartos que têm ocupação durante a noite e madrugada. Em comparação, ao analisar o resultado das simulações dos quartos para os climas mais quentes (Aracaju e Teresina), a perda de calor foi benéfica, uma vez que repercutiu na melhora do PHFT e na redução da CgTR.

De modo geral, os perfis 1, 3 e 5, que representam o comportamento com operação de janelas pelo critério de temperatura, resultaram em melhores indicadores de desempenho (maior PHFT e menor carga térmica) para Curitiba. Enquanto para Aracaju e Teresina, o aumento do PHFT e redução da carga térmica foram percebidos quando simulado o comportamento de acordo com os perfis 2, 4 e 6, representantes da abertura de janelas mediante à ocupação. Tal contraste evidencia o que fora discutido por Krelling et al. (2023) sobre a possibilidade de adoção de múltiplos perfis de usuário nas futuras revisões da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Os resultados encontrados colaboram com a discussão iniciada por Balvedi et al. (2018), em que a vinculação do critério de temperatura para definição do comportamento do usuário sobre operação de janelas e venzianas em simulações computacionais deixa de considerar fatores relevantes durante o uso da residência, como aspectos de rotinas, variações culturais e particularidades climáticas de cada região.

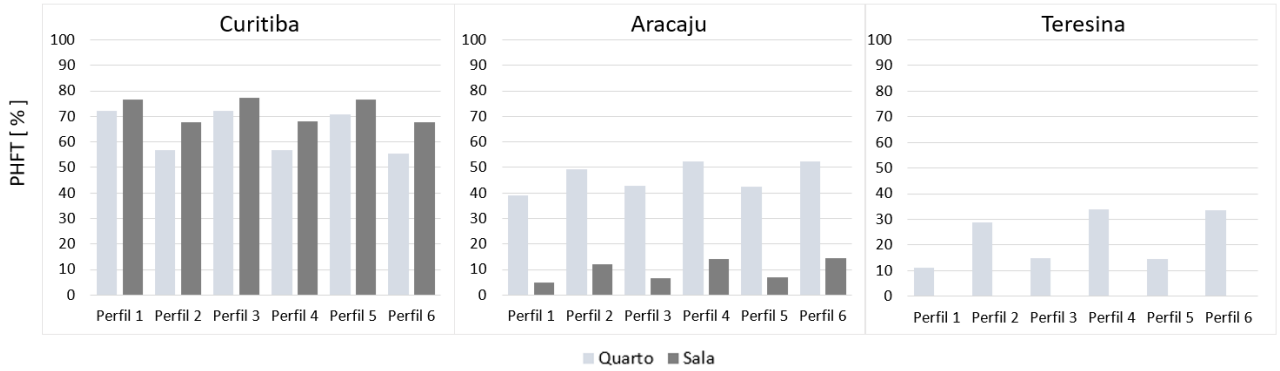

Figura 7 – Percentuais de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa por APP

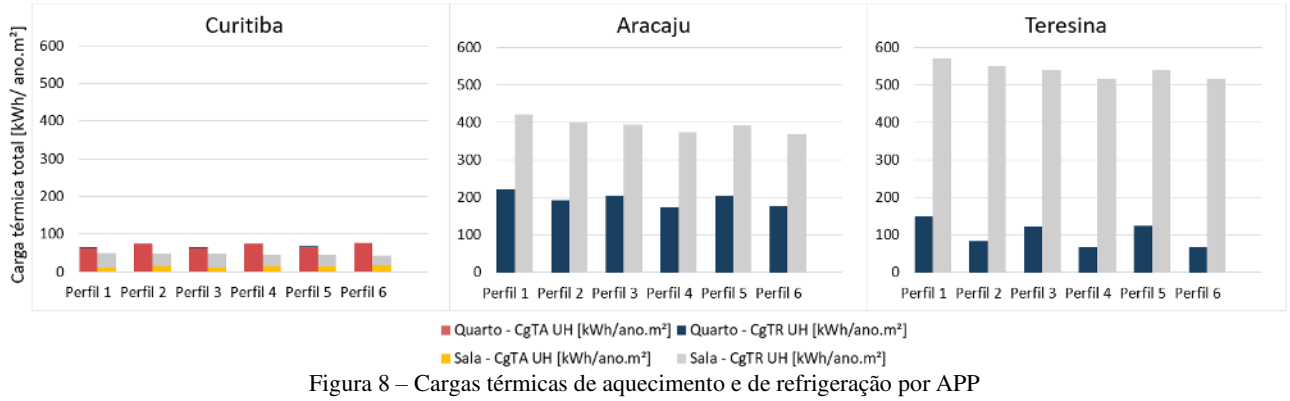

Figura 8 – Cargas térmicas de aquecimento e de refrigeração por APP

5. CONCLUSÕES

Os usuários são parâmetros fundamentais nas simulações de desempenho térmico. Assim, os resultados desse estudo apontaram que a variação no padrão de comportamento do ocupante quanto à operação de janelas e de venezianas impactam em diferenças nos indicadores de desempenho térmico propostos pela NBR 15575, inclusive evidenciadas pela variação climática considerada. Nesse sentido, o indicador de temperaturas operativa máxima foi menos influenciado se comparado ao indicador de temperatura operativa mínima, para este a diferença máxima obtida foi de 2,79°C em Curitiba.

Os perfis de usuário que vincularam o critério de abertura à temperatura resultaram em PHFT maiores e redução de carga térmica total da UH para o clima de Curitiba. Em compensação para Aracaju e Teresina o comportamento foi oposto, pois nesses climas quentes a utilização de ventilação natural facilita a perda de calor, assim os perfis que preconizam a abertura dos ambientes de permanência prolongada em função da

ocupação melhoraram o PHFT por proporcionar maior tempo com ventilação contínua. A análise combinada de comportamento da operação de janelas e acionamento das persianas demonstrou que os indicadores de desempenho foram menos sensíveis às variações de comportamento impostas para o fechamento das venezianas, o que pode ter sido influenciado pela temperatura limite para acionamento definido no escopo da NBR 15575.

Os indicadores de desempenho analisados separadamente para a sala e o quarto apresentaram tendências opostas, derivadas dos horários de ocupação definidos para cada um destes ambientes de permanência prolongada. Nesse sentido, os indicadores específicos para os quartos resultaram na menor necessidade de resfriamento ou na maior necessidade de aquecimento, no caso de Curitiba, por serem ocupados em horário que a temperatura externa é mais amena. Esse resultado apresentou a mesma tendência para todos os perfis de comportamento se comparado aos obtidos para a sala.

Ressalta-se a importância de estudar o comportamento do usuário de forma a compreender sua influência no desempenho térmico de edificações e possibilitar a adoção de modelos mais realistas de uso e operação dos ambientes para obter avaliações preditivas mais assertivas via simulação. Sob esse aspecto, destaca-se como limitação desse estudo, a elaboração dos perfis de comportamento a partir de adaptação das normas, o que pode suscitar a oportunidade de, em trabalhos futuros, desenvolver monitoramento real de residências para traçar um perfil real de operação de janelas condizente com as variações climáticas nacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. NBR 15.220-3: **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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.

BALVEDI, B. F.; SCHAEFER, A.; BAVARESCO, M. V.; ECCEL, J. V.; GHISI, E. Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 149-160, 2018.

EBUY, H.T.; BRIL EL HAOUZI, H.; BENELMIR, R.; PANNEQUIN, R. Occupant Behavior Impact on Building Sustainability Performance: A Literature Review. **Sustainability**, v. 15, p 1-23, 2023.

EVANS, M.; ROSHCHANKA, V. GRAHAM, P. An international survey of building energy codes and their implementation. **Journal of Cleaner Production**, v.158, p. 382–389, 2017.

FRANCESCHINI, P; NEVES, L. O impacto da operação de janelas no desempenho térmico das edificações escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

KRELLING, A. F. ELI, L. G. OLINGER, M. S. MACHADO, R. M. E. S. MELO, A. P. LAMBERT, R. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. **Energy and Buildings**, v.281, p 1-21, 2023.

MARKOVIC, R.; WOLF, S.; CAO, J.; SPINNRÄKER, E.; WÖLKI, D.; FRISCH, J.; TREECK, C. Comparison of Different Classification Algorithms for the Detection of User's Interaction with Windows in Office Buildings. **Energy Procedia**, Switzerland, v. 122, s.n, p. 337-342, 2017.

O'BRIEN, W.; TAHMASEBI, R.; ANDERSEN, R. K.; AZAR, E.; BARTHELMES, V; BELAFI, Z. D.; BERGER C.; CHEN, D.; SIMONE, M.; D'OCA, S.; TIANZHEN, H.; JIN, Q.; KHOVALYG, D.; LAMBERTS, R. NOVAKOVIC, V.; PARK, J. Y.; PLAGMANN, M.; RAJUS, V. S.; VELLEI, M. VERBRUGGEN, S. WAGNER, A. WILLEMS, E.; YAN, D.; ZHOU, J. An international review of occupant-related aspects of building energy codes and standards. **Building and Environment**, v. 179, p. 106906, 2020.

O'BRIEN, W.; GAETANI, I.; GILANI, S.; CARLUCCI, S; HOES, P. J.; HENSEN, J. International survey on current occupant modelling approaches in building performance simulation. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 10, n. 5-6, p. 653-671, 2017.

OLIVEIRA, A. C.; LADER, S. M.; LEÃO, C. P. A influência do comportamento do usuário em habitações de interesse social em clima quente e úmido. In: IBAPSA LATAM, 5., 2018, Valparaiso. **Anais...** Valparaiso: IBAPSA, 2018.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá. Brasília**, s.v. n. 12, p. 13-22, 2014.

WEERASINGHE, A. S. ROTIMI, J. O. B., RASHEED, E. O. Modelling of underlying social psychological effects on occupant energy-related behaviours. **Building and Environment**, v. 231, p. 1-18, 2023.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão das bolsas de mestrado e de doutorado.