IMPLICAÇÕES DAS FACHADAS DE VIDRO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS: ANÁLISE BASEADA NOS NOVOS CRITÉRIOS DA ABNT NBR 15575

Mateus Santos Fonseca (1); Gabriel de Oliveira Tomeleri (2); Gustavo Henrique Nunes (3); Thalita Gorban Ferreira Giglio (4)

(1) Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, mateus.fonseca@uel.br
(2) Graduando em Engenharia Civil, tomeleri1234@gmail.com
(3) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, gustavo.henrique.nunes@uel.br
(4) Doutora em Engenharia Civil, Professora do Departamento de Construção Civil, thalita@uel.br

Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Cx. Postal 6001, Londrina-PR, 86051-990, Tel.: (43) 3371-4649

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto de fachadas envidraçadas no desempenho térmico de uma sala de estar de um edifício multifamiliar, situado em Londrina/PR, aplicando os requisitos normativos da emenda da NBR 15575/2021. O objeto de estudo adotado foi uma sala de estar de um edifício multifamiliar de alto padrão, avaliada tanto pelo procedimento simplificado quanto pelo procedimento de simulação computacional presentes na revisão da norma de desempenho. Como resultados obteve-se que o ambiente de permanência prolongada (APP) não atende ao desempenho mínimo pelo novo procedimento simplificado, no critério de área de superfície de elementos transparentes, ultrapassando o limite estabelecido. Quanto ao novo procedimento de simulação computacional, o APP em seu modelo real não atingiu o nível mínimo, devido ao não atendimento ao critério de temperatura operativa máxima anual. O critério do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa foi atendido, porém, com o valor de 44,5%, demonstrando que o ambiente é altamente dependente de um sistema de climatização artificial para obtenção do conforto pelos usuários. O estudo apontou que o uso de fachadas envidraçadas impactou negativamente o desempenho térmico do ambiente residencial, para o clima local, com estratégias insuficientes para compensar sua aplicação. A revisão da norma, por sua vez, apresentou análises mais completas e rigorosas, com indicadores que proporcionam auxílio na elaboração de soluções.

Palavras-chave: pele de vidro, NBR 15575, edifício multifamiliar, simulação computacional.

ABSTRACT

This paper aims to verify the impact of glazing façade system on the thermal performance of residential environments, taking as a parameter the revision of the Brazilian Standard 15575/2013. The object of study adopted was a living room of a high-standard multifamily building located in Londrina, Paraná, where it was evaluated both by the simplified procedure and by the computer simulation procedure, present in the revision of the performance standard. As a result, it was obtained that the long permanence room (APP) does not meet the minimum performance due to the new simplified procedure, in the criterion of surface area of transparent elements, exceeding the limit established. As for the new computer simulation procedure, the APP in its real model did not reach the minimum level, due to the failure to meet the maximum annual operating temperature criterion. The criterion of the percentage of hours within the operating temperature range was met, however, with a value of 44.5%, demonstrating that the environment is highly dependent on an artificial air conditioning system to obtain comfort by users. The study pointed out that the use of glass façades negatively impacted the thermal performance of the residential environment, for the local climate, with insufficient strategies to compensate for its application. The revision of the Brazilian Standard 15575, on the other hand, presented more complete and rigorous analyzes, with indicators that provide assistance in the elaboration of solutions.

Keywords: glazing, Brazilian Standard 15575, multifamily building, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A busca por ambientes residenciais climatizados está associada, entre outros aspectos, ao extensivo uso de fechamentos envidraçados. Seu crescente emprego, desde a década de 50, pode ser motivado pelo maior aproveitamento da luz natural, abertura visual e agilidade na etapa de construção da edificação (BESEN; WESTPHAL, 2014). Assim, as fachadas de vidro tornaram-se uma das soluções mais comuns e populares da arquitetura moderna, dominando grande parte da arquitetura residencial urbana de alto a médio porte (STEINER; VEEL, 2011, ZOLOTAREVA *et al.*, 2019). No entanto, foram desenvolvidas inicialmente para climas frios e moderados, antes de serem utilizadas em diferentes climas (NEVEEN, 2008).

Como consequência deste cenário, a grande área envidraçada acaba propiciando maiores cargas térmicas e sistemas de condicionamento de ar mais robustos, resultando em um maior consumo de energia elétrica por parte de edificações que adotam este tipo de sistema (ALCHAPAR *et al.,* 2013; BESEN; WESTPHAL, 2014; SYNNEFA *et al.,*2007). Além disso, a sobreposição de uma pele de vidro à fachada, intervenção muito adotada atualmente, pode elevar a carga térmica interna devido ao aquecimento da câmara de ar entre as camadas da fachada (GRATIA; de HERDE, 2007).

Nesse contexto, o consumo de energia elétrica para condicionamento do ar nas residências brasileiras vem crescendo de forma significativa nos últimos anos. Com base nas estimativas realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo para climatização de ambientes residenciais quase triplicou entre os anos de 2005 e 2017, atingindo 18,5 TWh, mesmo com os avanços em eficiência energética obtidas nos aparelhos (EPE, 2018). De acordo com as previsões no Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2021), os condicionadores de ar, juntamente com o chuveiro e geladeira, representarão os principais consumidores de energia em 2030 nas residências brasileiras.

Diante desta discussão, salienta-se a importância de se avaliar o desempenho térmico de ambientes residenciais, dentre outros aspectos, pela grande tendência de uso de fechamentos transparentes no setor. Nesse sentido, a NBR 15575, conhecida como 'norma de desempenho', exerce um papel fundamental, atuando como uma importante métrica norteadora de desempenho no mercado da construção civil brasileira. Assim, desde 2018 a norma de desempenho vem passando por mudanças substanciais no método por simulação e no método simplificado para análise de desempenho térmico, se consolidando em 2021 pelas emendas das partes 1, 4 e 5 da NBR 15575 (ABNT, 2021a; ABNT, 2021b; ABNT, 2021c).

Um novo critério está relacionado aos fechamentos envidraçados, de acordo com o percentual e a área de superfície de elementos transparentes. Este critério foi introduzido na emenda a fim de avaliar e regulamentar grandes áreas envidraçadas dispostas na fachada e seus sistemas de sombreamento e controle solar (ABNT, 2021b). Com isso, o método simplificado apresenta-se mais restritivo, pois limita grandes áreas de vidro no setor residencial, além de conduzir à exigência da simulação computacional quando a área percentual de elementos transparentes em relação à área de piso é maior do que 40%. Tal requisito é importante para o desempenho termoenergético da edificação pois influi diretamente na carga térmica do interior do ambiente.

Considerando a importância do domínio de projetistas na aplicação das metodologias propostas nas referidas emendas, principalmente no que se refere à prática da simulação computacional, e tendo em vista o crescente uso de pele de vidro em fachadas de edificações, este trabalho contribui com resultados de desempenho térmico de um ambiente residencial com predominância de elementos transparentes, no âmbito dos requisitos e critérios normativos da atualização da NBR 15575.

2. OBJETIVO

Analisar o impacto de fachadas envidraçadas no desempenho térmico de uma sala de estar de um edifício multifamiliar, situado em Londrina/PR, aplicando os requisitos normativos da emenda da NBR 15575.

3. MÉTODO

Para atender ao objetivo deste estudo, foram aplicados os procedimentos simplificado e de simulação computacional, de acordo com a emenda da norma de desempenho (emendas parte 1 e parte 4).

3.1. Caracterização da envoltória

O ambiente analisado foi uma sala de estar de um apartamento residencial de alto padrão situado em Londrina/PR, em latitude -23,33 e longitude -51,17, pertencente à Zona Bioclimática 3 (ZB3) (ABNT, 2005). O edifício, de 113,6 m de altura, possui 28 pavimentos de apartamentos, sendo um apartamento por andar, com 323 m² de área privativa. Considerou-se uma unidade habitacional do pavimento intermediário, sem

contato com solo e cobertura, e livre de sombreamento. Salienta-se que no entorno existem outras edificações, que podem influenciar na incidência solar por reflexão e sombreamento, porém apresentam altura inferior ao caso analisado. Desta forma, o entorno foi desconsiderado das análises por simulação.

A sala de estar possui 68,08 m^2 de área útil ($A_{U,APP}$) e três planos de fachadas em contato com o ambiente externo, nas orientações nordeste, sudoeste e sudeste. As composições de vedações verticais opacas foram: pilar de concreto rebocado com argamassa; concreto rebocados com argamassa, câmara de ar e pele de vidro; pilar de concreto rebocado com argamassa, câmara de ar e pele de vidro.

A Figura 1 contém a planta baixa do pavimento tipo destacando a sala de estar (Figura 1a), assim como a perspectiva do edifício (Figura 1b) e o detalhe da predominância da pele de vidro nas fachadas orientadas para sudoeste e sudeste (Figura 1c) e sudeste e nordeste (Figura 1d).



Figura 1 – (a) Planta baixa da edificação com demarcação da sala de estar; (b) perspectiva do edifício analisado; (c) detalhe das fachadas sudoeste e sudeste; e (d) detalhe das fachadas sudeste e nordeste (adaptado de arquivo da construtora).

A pele de vidro das fachadas sudoeste e sudeste, com nomenclatura PV1 nas Figuras 2a e 2b, é composta por vidro laminado de controle solar, com espessura de 8 mm, fator solar de 0,36 e transmitância térmica de 5,67 W/m²K (ID 58 em CB3E, 2015), sustentado por perfis de alumínio. Em alguns pontos da fachada ocorre a sobreposição da pele de vidro, ao fechamento opaco formado pela estrutura e vedação em concreto armado pintado na cor preta (área cinza da Figura 2b), conforme ilustra-se no corte transversal da Figura 3. Salienta-se que apenas três módulos em vidro, presentes na fachada sudoeste, são passíveis de abertura para a ventilação, sendo do tipo projetante (Figura 2b), enquanto os demais módulos são do tipo fixo. Por fim, a fachada nordeste possui fechamento em concreto armado e uma porta de correr em vidro comum de 4 mm, representada pela nomenclatura PA1 (Figuras 2a e 2c). A porta PA1 dá acesso à sacada do apartamento, a qual possui cerca de 4 metros de largura e atua como um dispositivo de sombreamento (em destaque na Figura 1d). A porta, quando aberta, apresenta 2/3 de área de aproveitamento para ventilação natural. As linhas azuis na planta baixa da Figura 2a representam os fechamentos da sala sem contato com o ambiente externo, consideradas como adiabáticas, assim como o piso e cobertura. Na mesma figura se encontra a carta solar da cidade, orientada conforme o sentido do ambiente analisado.

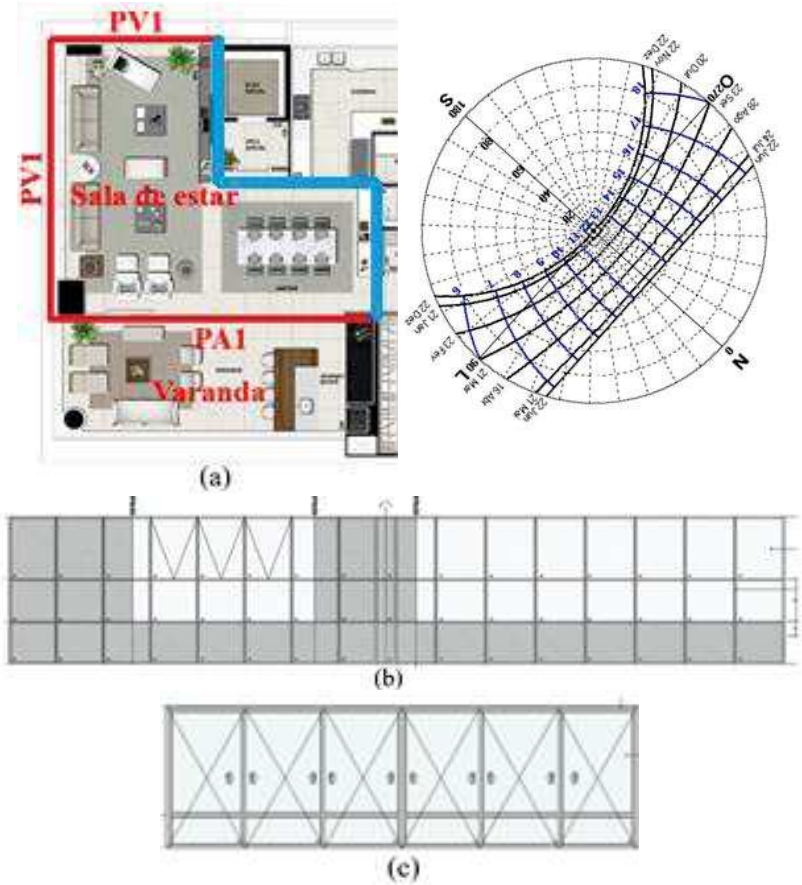


Figura 2 – (a) Planta baixa da sala de estar e carta solar; (b) esquadria PV1 – fachadas sudoeste/sudeste; e (c) esquadria PA1 – fachada nordeste (adaptado de arquivo da construtora).

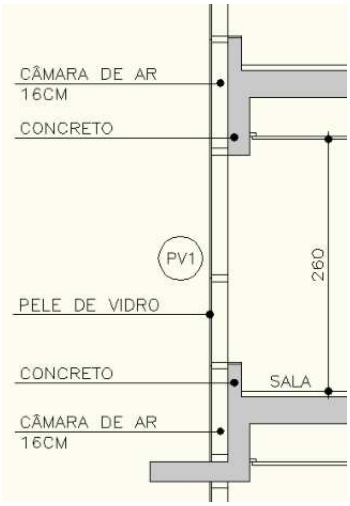


Figura 3 – Corte transversal da fachada em vidro (adaptado de arquivo da construtora).

3.2. Aplicação do procedimento simplificado proposto pela revisão da NBR 15575

A partir do procedimento simplificado, foram analisadas as características geométricas da sala de estar e as propriedades termofísicas de suas vedações verticais externas, de acordo com os requisitos da NBR 15575-4 (ABNT, 2021b). Foram verificadas a absortância solar, a transmitância e capacidade térmica, e o percentual de abertura para ventilação, que se mantiveram com a revisão da norma de desempenho, além do novo critério que estabelece o atendimento à proporção dos elementos transparentes, por percentual ou área.

Para a verificação de atendimento aos requisitos, as composições de fechamento heterogêneas tiveram seus parâmetros termofísicos ponderados, conforme instruções normativas (ABNT, 2021b; INMETRO, 2012). Além disso, como preconiza a emenda da NBR 15575-4 (2021b), corrigiu-se a absortância solar dos fechamentos, considerando a degradação da superfície externa após três anos.

Com relação ao critério de percentual de aberturas para ventilação, verificou-se a proporção das áreas de aberturas, em relação à área de piso do ambiente. Para tanto, as aberturas projetantes da esquadria PV1 foram minoradas em 30%, de acordo com o ângulo de abertura da folha de 45° graus (LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F., 2014), a fim de se obter a área útil de ventilação. Quanto à porta de correr PA1, considerou-se que a área útil de ventilação corresponde a 66% da área total da esquadria.

O último item avaliado refere-se aos elementos transparentes da edificação, novo critério em relação à norma vigente. Nesta etapa, avaliaram-se a área e o percentual de elementos transparentes.

Destaca-se que o desempenho térmico estabelecido por meio do procedimento simplificado possibilita a obtenção do nível mínimo, de caráter obrigatório, enquanto o não atendimento a qualquer de seus critérios conduz à análise por meio do procedimento de simulação computacional.

3.3. Aplicação do procedimento de simulação computacional proposto pela revisão da NBR 15575

Nesta etapa, analisou-se o desempenho térmico da sala de estar, ao longo de um ano, a partir da comparação de dois modelos de simulação: real e de referência, de acordo com a reformulação substancial ocorrida no método por simulação computacional (ABNT, 2021a). As simulações procederam com o uso da ventilação

natural para a análise do atendimento aos níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho, e com climatização artificial para a análise do atendimento aos níveis intermediário e superior.

3.3.1. Características da modelagem e da simulação computacional

A modelagem do ambiente foi realizada por meio do *SketchUp* 2017 (versão 17.0), auxiliado pelo *plug-in OpenStudio* (versão 2.9.1). As simulações foram realizadas com o *EnergyPlus* (versão 9.3), considerando-se o período de um ano completo, nas condições operativas com e sem ventilação natural. Foi utilizado o arquivo climático de Londrina/PR, referente ao ano climático de referência (TRY) de 1996.

O modelo real, que considera todas as soluções construtivas determinadas no projeto, pode ser observado na Figura 2. O modelo de referência, de acordo com a emenda, preserva a volumetria da edificação real, porém têm alterações na composição dos fechamentos opacos e transparentes, nas áreas de abertura para ventilação e iluminação, e não considera os dispositivos de sombreamento externos (ABNT, 2021a), conforme ilustra-se na Figura 3.

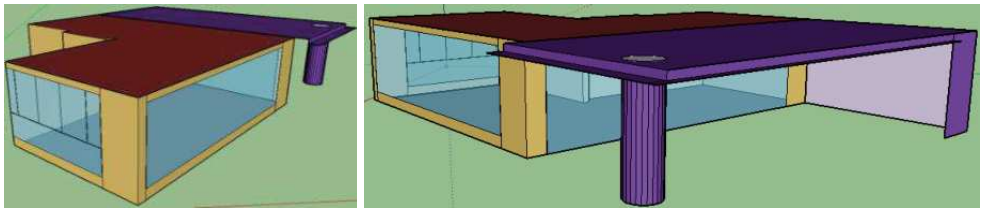


Figura 2 – Modelo real da sala de estar.

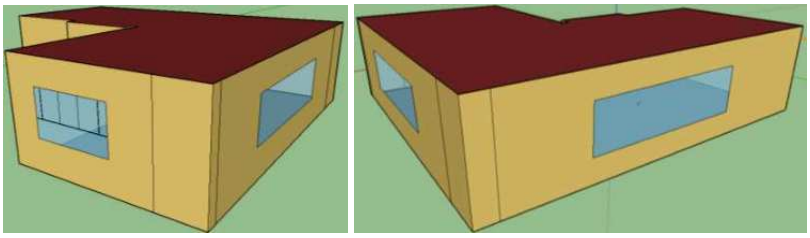


Figura 3 – Modelo de referência da sala de estar.

As cargas internas e os períodos de uso e ocupação são apresentados na Tabela 1, de acordo com as definições da emenda da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Para o modelo simulado com o uso da ventilação natural, determinou-se que as janelas e a porta da varanda se abririam somente quando a sala de estar estivesse ocupada e a temperatura de bulbo seco interna fosse igual ou superior a 19 ºC e superior à temperatura de bulbo seco externa. Para quando estivessem fechadas, adotou-se os parâmetros de infiltração por frestas indicados pela norma, apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Cargas internas e períodos para as simulações.

Fontes de calor		**Sala**	**Períodos de uso**
Pessoas	Ocupação	4 pessoas	14:00-21:59
	Taxa metabólica	108 W/pessoa	
	Fração radiante	0,3	
Iluminação	Densidade de potência instalada	5,0 W/m²	16:00-21:59
	Fração radiante	0,32	
	Fração visível	0,23	
Equipamentos	Densidade de cargas internas	120 W	14:00-21:59
	Fração radiante	0,3	

Tabela 2 – Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas.

Parâmetros	**Portas**	**Janelas**
Coeficiente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (kg/(s·m))	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coeficiente de descarga da abertura (adimensional)	0,60	0,60

Para as simulações sem o uso de ventilação natural, todas as portas e janelas foram mantidas fechadas durante o ano todo, sendo utilizados os coeficientes de infiltração descritos na Tabela 4. Foi utilizado um sistema condicionador de ar para aquecimento e refrigeração considerado ideal, ou seja, sem perdas de energia. A temperatura de *setpoint* foi definida como 21 ºC e 23 ºC, para aquecimento e refrigeração, respectivamente, somente nos horários de ocupação (ABNT, 2021a).

3.3.2. Dados de saída dos modelos simulados

A simulação com ventilação natural teve como variável de saída a temperatura operativa horária do ambiente. A partir disso, avaliaram-se os critérios de temperatura operativa máxima e mínima e o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), correspondente ao intervalo de 18 ºC a 26 ºC, neste estudo. O PHFT foi obtido a partir da Equação 1, onde: $PHFT_{APP}$ é o percentual de horas ocupadas do ambiente de permanência prolongada, dentro da faixa de temperatura operativa (%); Nh_{FT} é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro do intervalo definido; e Nh_{Ocup} é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada está ocupado ao longo do ano, equivalente a 2.920 horas para salas.

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{ocup}} \times 100 \qquad \text{Equação 1}$$

Para o atendimento aos critérios mínimos, o percentual do modelo real deve ser maior que 90% do percentual do modelo de referência; a temperatura máxima do modelo real deve ser menor ou igual à temperatura máxima do modelo de referência acrescido 1 ºC, para pavimento tipo de edificações multifamiliares; e a temperatura mínima do modelo real deve ser maior ou igual à temperatura mínima do modelo de referência diminuído 1 ºC. Para a obtenção dos níveis desempenho intermediário e superior, além dos critérios mínimos, a diferença entre o PHFT do modelo Real e do modelo de Referência, denominada incremento do PHFT (ΔPHFT), deve se igualar ou superar o incremento mínimo (ΔPHFTmín), definido no item 11.4.7.9 da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). O ΔPHFT, encontrado através de uma subtração entre o valor de $PHFT_{REAL}$ e o $PHFT_{REF}$, foi comparado ao ΔPHFTmín dos níveis intermediário e superior, obtidos por meio do ábaco disposto na norma para quando o $PHFT_{REF}$ é menor ou igual a 70%.

A simulação sem ventilação natural teve como parâmetros as cargas térmicas anuais de aquecimento (CgTA) e refrigeração (CgTR). Além disso, outro indicador de desempenho considerado foi a carga térmica total (CgTT), dada pela soma de CgTA e CgTR. A análise das cargas térmicas não estabelece um critério mínimo, mas é necessária para o atendimento aos níveis intermediário e superior. Para isso, a revisão normativa descreve a redução da carga térmica total do modelo real (RedCgTT), em relação à carga térmica total do modelo de referência, segundo a Equação 2.

$$RedCgTT = \left[1 - \frac{CgTT_{real}}{CgTT_{ref}}\right] \times 100 \qquad \text{Equação 2}$$

Para a obtenção dos níveis desempenho intermediário e superior, a RedCgTT, obtida por meio da Equação 2, foi comparada à RedCgTTmín, estabelecida de acordo com instruções da emenda que determina seu valor a partir da relação entre a $CgTT_{REF}$ e a área de piso do APP, além de sua tipologia caracterizada como pavimento tipo de edificação multifamiliar.

4. RESULTADOS

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos para o procedimento simplificado e para o procedimento de simulação computacional aplicados ao APP analisado neste estudo.

4.1. Desempenho térmico pelo procedimento simplificado

Os critérios do procedimento simplificado que já existiam na norma vigente se mantiveram inalterados na emenda da NBR 15575-4 (ABNT, 2021b), com exceção do valor considerado para a absortância solar das paredes externas, que define o parâmetro para sua transmitância térmica. O valor da absortância solar que considera a degradação de 3 anos da superfície das paredes não interferiu no parâmetro avaliado, uma vez que a alteração foi de 0,61 para 0,66, de acordo com o cálculo informado na norma, permanecendo superior a 0,6. A Tabela 3 apresenta o atendimento aos critérios de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas.

Tabela 3 – Transmitância térmica U_{PAR} e capacidade térmica CT_{PAR} das paredes externas.

Propriedade	Valor	Critério	Atendimento
U_{PAR} (W/(m².K))	1,24	≤ 2,50	Atende
CT_{PAR} (kJ/(m².K))	1281,28	≥ 130	Atende

A Tabela 4 mostra as áreas de abertura para ventilação das esquadrias PV1 e PA1 do APP, bem como a área efetiva total ($A_{V,APP}$). De acordo com a norma, para a ZB3 o percentual de abertura para ventilação ($P_{V,APP}$), que é a relação entre a $A_{V,APP}$ e a área útil do APP ($A_{U,APP}$), deve ser maior ou igual a 7,0% da $A_{U,APP}$, equivalente ao mínimo de 4,77 m². O atendimento à norma é apresentado na Tabela 5.

Tabela 4 - Áreas de abertura para ventilação.

Áreas	Valor
Abertura para ventilação PV1 (m²)	1,06
Abertura para ventilação PA1 (m²)	14,72
Área efetiva de abertura para ventilação - $A_{V,APP}$ (m²)	15,78

Tabela 5 - Percentual de abertura para ventilação ($P_{V,APP}$).

Propriedade	Valor	Critério	Atendimento
$P_{V,APP}$ (%)	23,18	$P_{V,APP}$ (%) ≥ 4,77	Atende

Para o critério proposto pela emenda foram avaliados os elementos transparentes do APP. Como a área útil do APP é superior a 20 m², o critério analisado foi a área desses elementos que deveria ser menor ou igual a 4,0 m². A Tabela 6 apresenta as áreas de cada elemento transparente, bem como seu fator solar (FS), e a Tabela 7 mostra a área total e o percentual dos elementos transparentes do APP.

Tabela 6 - Área e FS dos elementos transparentes.

Propriedade	Valor	Fator Solar
Área transparente PV1 (m²)	23,10	0,36
Área transparente PA1 (m²)	18,82	0,87

Tabela 7 - Área total e percentual de elementos transparentes do APP.

Propriedade	Valor
Área de superfície de elementos transparentes - $A_{T,APP}$ (m²)	41,92
Percentual de elementos transparentes - PT,APP (%)	61,57

Para os APPs das UHs localizadas na ZB3 são permitidas áreas de elementos transparentes superiores a 4,0 m² caso sejam utilizados vidros de baixo fator solar (FS) ou elementos de sombreamento horizontais nas aberturas, com exceção da fachada Sul, quando localizadas em latitudes inferiores a -15º. Como a cidade de Londrina, se localiza na latitude -23.29º, tais condições foram adotadas.

Apesar de a pele de vidro (PV1) possuir baixo fator solar, o vidro comum da porta da varanda (PA1) reduziu a média do FS dos elementos transparentes ao se realizar a ponderação, que resultou em um valor de 0,59. De acordo com as condições estabelecidas na emenda, esse FS equivale a um limite máximo de área de elementos transparentes igual a 4,6 m². Apesar de elevar o limite, ainda é muito inferior à $A_{T,APP}$ do APP, com 41,92 m² (Tabela 7).

Além disso, a condição de ângulo vertical de sombreamento (AVS) não é aplicável ao APP. Por mais que possua sombreamento em toda a porta da varanda (PA1), não possui sombreamento na pele de vidro (PV1). Como não há sombreamento em mais de 10% da extensão horizontal dos elementos transparentes, essa condição não pode ser considerada.

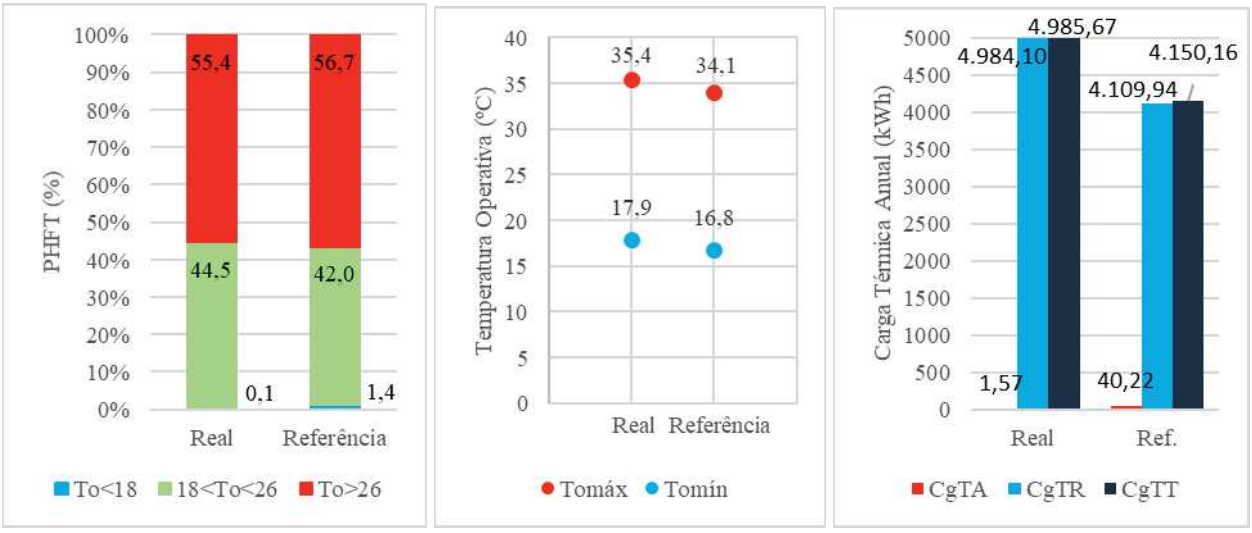
Considerando que o APP possui um percentual de elementos transparentes muito maior que 40%, não há condição que satisfaça os critérios do procedimento simplificado da emenda. Como resultado para o procedimento simplificado, o ambiente estudado não satisfaz o critério proposto pela revisão da norma, devido à área envidraçada das fachadas. Como a área de elementos transparentes ultrapassa os limites estabelecidos, foi necessário avaliar o APP por meio do procedimento de simulação computacional.

4.2. Desempenho térmico pelo procedimento de simulação computacional

A Figura 4 apresenta os indicadores Percentual de Horas dentro da Faixa de Temperatura (PHFT), temperaturas operativas máxima (To,máx) e mínima (To,mín) e carga térmica anual (CgTT) obtidos como resultado das simulações dos modelos real e de referência.

Observa-se que, com o uso da ventilação natural, o modelo real atingiu maior PHFT que o modelo de referência. Isso provavelmente ocorreu devido à limitação da porcentagem de abertura para ventilação para o modelo de referência, descrita na emenda, uma vez que a área foi reduzida de 15,78 m² para 5,21 m². Por outro lado, as simulações apresentaram temperaturas operativas máxima e mínima mais elevadas para o modelo real.

Para as simulações sem a ventilação natural, o modelo real demandou uma carga térmica anual total maior que o modelo de referência. Nota-se que, apesar disso, o modelo de referência apresentou maior carga térmica para aquecimento. Isso condiz com o elevado percentual de área envidraçada da fachada do modelo real, enquanto o da fachada do modelo de referência foi reduzido de 61,57% para 17,00% de acordo com as diretrizes da emenda.



(a) (b) (c)

Figura 4 - Resultados de (a) PHFT, (b) Tomáx e Tomín e (c) CgTT.

Para a avaliação de nível mínimo, foram comparados os percentuais de horas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo real e do modelo de referência, assim como suas temperaturas máxima e mínima, de acordo com os critérios estabelecidos, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Nível mínimo pelo Procedimento de Simulação Computacional.

Fator	Modelo Real	Modelo de Referência	Critério	Atendimento
$PHFT_{APP}$ (%)	44,5	42,0	$PHFT_{APP,REAL} \geq PHFT_{APP,REF}$	Atende
$Tomáx_{APP}$ (°C)	35,4	34,1	$Tomáx_{APP,REAL} \leq Tomáx_{APP,REF} + 1°C$	Não atende
$Tomín_{APP}$ (°C)	17,9	16,8	$Tomín_{APP,REAL} \geq Tomín_{APP,REF} - 1°C$	Atende

Diante do resultado exposto, verificou-se que tal como para o procedimento simplificado, o APP não atendeu ao nível mínimo estabelecido pela proposta de revisão da norma, falhando no critério de temperatura operativa máxima anual. Destaca-se o fato de que a temperatura acima do limite foi obtida somente para um horário em todo o ano simulado, de modo que o horário com a segunda maior temperatura simulada já estaria dentro do limite. Assim, a sala de estar não obteve aprovação no nível mínimo de desempenho por causa de 1 hora em 2920 horas de ocupação do ambiente.

Nota-se ainda que o critério do PHFT foi atendido com valor muito baixo, com 44,5% das horas ocupadas dentro da faixa de temperatura entre 18 ºC e 26 ºC. Recorrendo à ventilação natural, os usuários do ambiente permaneceriam na sala, na maior parte do tempo, fora da faixa de temperatura determinada, predominantemente em temperaturas mais altas. Isso ocorreu porque o atendimento ao critério depende da comparação com o desempenho do modelo de referência, o qual proporcionou um PHFT ainda menor.

Mesmo não atendendo aos critérios de nível mínimo, foram aplicados os critérios de desempenho para os níveis intermediário e superior a fim de compreender o desempenho do APP quando climatizado artificialmente.

A avaliação dos critérios para os níveis intermediário e superior está apresentada na Tabela 9. O ΔPHFTmín é o mesmo para ambos os níveis, de modo que o nível superior se destaca com maior rigor quanto à RedCgTTmín.

Tabela 9 - Atendimento aos níveis intermediário e superior.

Nível Intermediário			
Critério: $\Delta PHFT_{UH} \geq \Delta PHFT_{mín}$	**ΔPHFT (%)**	**$\Delta PHFT_{mín}$ (%)**	**Atendimento**
	2,50	16,66	( ) Sim **(X) Não**
Critério: $RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$	**RedCgTT (%)**	**$RedCgTT_{mín}$ (%)**	**Atendimento**
	-20,13	0,00	( ) Sim **(X) Não**
Nível Superior			
Critério: $\Delta PHFT_{UH} \geq \Delta PHFT_{mín}$	**ΔPHFT (%)**	**$\Delta PHFT_{mín}$ (%)**	**Atendimento**
	2,50	16,66	( ) Sim **(X) Não**
Critério: $RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$	**RedCgTT (%)**	**$RedCgTT_{mín}$ (%)**	**Atendimento**
	-20,13	45,00	( ) Sim **(X) Não**

Com o não atendimento aos critérios do nível mínimo, já se esperava que os níveis intermediário e

superior não fossem atendidos. Ainda assim, é possível perceber com essa avaliação como o ambiente estudado está próximo de atingir o nível intermediário e distante do desempenho estabelecido para o nível superior.

Apesar de o PHFT do modelo real ser maior que o PHFT do modelo de referência, são valores muito próximos, de modo que o APP em estudo não apresenta incremento satisfatório em seu desempenho com o uso de ventilação natural em relação ao modelo de referência que representa um desempenho mínimo.

Por outro lado, nem mesmo ocorre uma redução de carga térmica quanto ao uso de sistema de condicionamento de ar. Os resultados da simulação computacional demonstraram que o ambiente demanda uma carga térmica maior que o modelo de referência para manter a temperatura operativa dentro da faixa estabelecida, enquanto o critério do nível intermediário exige ao menos que se igualem e do nível superior requer uma redução muito superior. A principal razão da alta carga térmica é a predominância de vidro na composição das vedações verticais, mantidos fechados para o funcionamento dos aparelhos condicionadores de ar. Com isso, configura-se um ambiente com alta incidência de radiação solar direta sem o apoio da ventilação natural para a retirada do calor gerado.

5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi analisado o impacto do uso de fachadas envidraçadas no desempenho térmico de uma sala de estar em um edifício multifamiliar de alto padrão, situado em Londrina/PR, de acordo com os requisitos propostos pela emenda da NBR 15575. Embora seja um ambiente residencial simplificado, diferentes características da envoltória foram abrangidas, como o emprego de grande área de pele de vidro, grande área útil do ambiente, uso de vidros de diferentes fatores solares e a presença de dispositivo de sombreamento em parte das aberturas.

Os resultados obtidos demonstraram que o ambiente residencial analisado atende aos critérios estabelecidos no procedimento simplificado da norma de 2013, caracterizando o nível mínimo de desempenho térmico. Entretanto, devido à introdução do critério de avaliação da área e do percentual de elementos transparentes pela emenda de 2021, o ambiente obteve desempenho insuficiente para aprovação, devido à grande área envidraçada de suas fachadas. Mesmo que a emenda apresente condições específicas que permitam limites mais altos para o uso de elementos transparentes, as características da fachada envidraçada supera o maior limite estabelecido na norma, de modo que é requerida a avaliação pelo procedimento de simulação computacional em qualquer situação, o que demonstra maior rigor com a revisão.

Pelos resultados da simulação computacional, o modelo não atende aos requisitos do nível mínimo por apresentar temperatura máxima acima do limite, caracterizando novamente um desempenho térmico insuficiente ao ambiente estudado. Já o critério de percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa foi atendido, porém com apenas 44,5% das horas de temperatura do ano, dentro da faixa de 18 ºC a 26 ºC. O valor é extremamente baixo, mas é superior ao percentual obtido para o modelo de referência.

Dessa forma, o ambiente se mostra altamente dependente da climatização artificial, para a qual os resultados também demonstraram desempenho insuficiente. Sem o atendimento ao nível mínimo, era evidente que o modelo não atenderia aos níveis intermediário e superior, porém sua análise demonstrou como seu desempenho está distante de atender aos critérios desses níveis com o uso da climatização artificial. O fato chama a atenção da importância em se estabelecer critérios compulsórios quanto ao nível de eficiência energética das habitações e não somente critérios relacionados ao desempenho térmico.

De qualquer forma, caso os novos critérios de desempenho térmico da NBR 15575 já estivessem em vigor no período de aprovação do projeto, os projetistas seriam obrigados a repensar a estratégia adotada inicialmente para as fachadas envidraçadas. Para isso, cada indicador avaliado na aplicação do método proposto refletiu informações relevantes para a compreensão do desempenho térmico da edificação e que podem auxiliar os projetistas na elaboração de soluções. Além disso, a nova proposta proporciona análise mais rigorosa e completa, incentivando a construção de edificações mais eficientes e que conferem maior conforto aos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2013 Emenda 1:2021**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:2013 Emenda 1:2021**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2021b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5:2013 Emenda 1:2021**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2021c.

ALCHAPAR, N. L; CORREA, E. N; CANTON, M. A. Influencia del envejecimiento de los materiales en su desempeño térmico: El caso de revestimientos texturados para fachadas. **Rev. LatinAm. Metal. Mater.**, Caracas, v. 33, n. 2, p. 282-291, dic. 2013.

BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Fachadas de vidro no brasil: um estudo comparativo de viabilidade econômica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais** [...]. Maceió, 2014. p. 964.

CB3E. CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil**. Florianópolis, 2015.

EPE - Ministério de Minas e Energia. **O uso do ar condicionado no setor residencial brasileiro**: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. 2018. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf

EPE - Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. 2021. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf

GRATIA, E.; DE HERDE, A. Greenhouse effect in double-skin facade. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 2, p. 199–211, fev. 2007.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais.** RTQ-R. Portaria n.18, de 16 de Janeiro de 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. 366 p. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

NEVEEN, H. Double versus single skin facades in hot arid areas. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 240–248, jan. 2008.

STEINER, H.; VELL, K. Living Behind Glass Facades: Surveillance Culture and New Architecture. **Surveillance &Society**, 9(1/2), 215–232. 2011.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, **Solar Energy**, Volume 81, Issue 4, 2007, Pages 488-497.

ZOLOTAREVA *et al.* 2019 IOP Conf. Ser.: **Mater. Sci. Eng.** 698 022046, 2019.