XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

O impacto do tamanho das aberturas no conforto de ambientes naturalmente ventilados

The impact of openings sizes on the thermal comfort of naturally ventilated environments

Camila Carvalho Ferreira
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | camilaccferreira@yahoo.com.br
Eleonora Sad de Assis
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | eleonorasad@yahoo.com.br
Camilla Laureano Marques
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | camillalaureano@hotmail.com

Resumo

A ventilação natural possui importante papel nas condições de conforto térmico de edificações residenciais em climas quentes. Com o objetivo de avaliar os impactos causados pela variação do tamanho das aberturas no conforto térmico em uma residência unifamiliar, em cidades com climas caracteristicamente distintos, foram realizadas simulações computacionais de desempenho termoenergético em uma cidade representante de cada uma das zonas bioclimáticas, segundo a NBR 15.220 [1]. As aberturas foram variadas em três configurações de tamanho de aberturas conforme estabelecido nas Tabelas de Mahoney: pequena, média e grande, sendo ainda avaliada uma quarta configuração correspondendo às aberturas grandes com a presença de sombreamento. Os resultados obtidos apresentaram diferenças para cada zona, mas de forma geral as melhores condições de conforto térmico foram garantidas por aberturas grandes para os dormitórios e aberturas pequenas para as salas ou aberturas grandes e sombreadas. O presente trabalho faz parte de um trabalho de Iniciação Científica Voluntária em andamento.

Palavras-chave: Conforto ambiental; Ventilação natural; Aberturas

Abstract

Natural ventilation plays an important role in the thermal comfort conditions of residential buildings in hot climates. With the objective of evaluating the impacts caused by the variation of the openings size in the thermal comfort in a single-family dwelling, computer simulations of thermoenergetic performance were carried out in different cities representing each of the bioclimatic zones, according to the NBR 15.220 [1]. The apertures were varied in three size configurations as established in the Mahoney Tables: small, medium and large, with a fourth configuration being evaluated corresponding to large apertures with the presence of a shading

Como citar:
FERREIRA, C. C.; ASSIS; E. S.; MARQUES, C. L.. O impacto do tamanho das aberturas no conforto de ambientes naturalmente ventilados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

device. The results obtained showed differences for each zone, but in general, the best conditions of thermal comfort were guaranteed by large openings for the bedrooms and small openings for the rooms or large and shaded openings. The present work is part of a work of Voluntary Scientific Initiation in progress.

Key words: Thermal comfort; Natural ventilation; Openings

INTRODUÇÃO

São diversos os fatores que, quando combinados e inter-relacionados, definem o conforto térmico dos ambientes. Ao elaborar um projeto que promova um conforto ambiental adequado e energeticamente eficiente, um dos parâmetros a ser considerado é o tamanho apropriado para as aberturas. As aberturas tanto permitem a ventilação natural, quanto a incidência de radiação visível, possibilitando o uso da iluminação natural nos ambientes, ou a entrada de calor (radiação direta).

Assim, são múltiplos os impactos no conforto causados em consequência da variação da dimensão das aberturas. Para climas quentes, como os predominantes no Brasil, as aberturas são pontos chave para o balanço térmico da edificação. Corbella e Corner [5] citam como estratégia para atingir o conforto climático a redução das áreas envidraçadas ao estritamente necessário para prover iluminação natural, localizando corretamente estes planos de modo a evitar o efeito estufa. Em contraponto, o estudo de Sorgato, Versage e Lamberts [6], analisou, a partir de simulações computacionais, o impacto da variação do aumento das aberturas nas cidades de Florianópolis, na zona bioclimática 3, e Salvador, na zona bioclimática 8, em uma edificação residencial multifamiliar padrão. Os resultados mostraram a diminuição dos graus-hora de resfriamento com o aumento das aberturas, ou seja, a melhora nas condições de conforto, em todos os cenários.

Usualmente, normas regulamentadoras, como a NBR 15.575 [2], planos diretores e códigos de obras, estabelecem valores mínimos para as dimensões das aberturas externas dos ambientes. Estes valores podem não contemplar a necessidade dos climas mais quentes e úmidos, e serem, assim, insuficientes para a obtenção de conforto térmico nos ambientes internos. Existem, por outro lado, referências para o projeto arquitetônico, como a NBR 15.220 [1] e as Tabelas de Mahoney [7], que estabelecem faixas de tamanhos de aberturas em vez de apenas valores mínimos. Há, portanto, diferentes referências com recomendações para estas aberturas. A norma NBR 15.220 [1] apresenta recomendações de projeto para cada zona bioclimática brasileira e estabelece três tamanhos de aberturas, sendo elas: pequena (10% a 15% da área de piso), média (15% a 25% da área de piso) e grandes (40% ou mais da área de piso). Tais recomendações foram obtidas a partir da plotagem de dados de médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e umidades relativas do ar no Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG) e aplicação das Tabelas de Mahoney [1]. No Quadro 1 estão dispostas as recomendações quanto às aberturas para cada zona bioclimática brasileira, de acordo com a NBR 15.220 [1].

Quadro 1: Recomendação do tamanho das aberturas para cada Zona Bioclimática, de acordo com a NBR 15.220 [1]

Zona	Tamanho	Sombreamento
Z01	Médias	Sol durante o inverno
Z02	Médias	Sol durante o inverno
Z03	Médias	Sol durante o inverno
Z04	Médias	Sombrear aberturas
Z05	Médias	Sombrear aberturas
Z06	Médias	Sombrear aberturas
Z07	Pequenas	Sombrear aberturas
Z08	Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: Adaptado de [1]

A NBR 15.575 [2] define áreas mínimas de abertura também em relação à área do piso, sendo 7% para as zonas bioclimáticas de 1 a 7 (categorizadas como médias) e a partir de 8% para a zona bioclimática 8 (categorizada como grande), nas regiões nordeste e sudeste, e de 12% na região norte. As categorias parecem, portanto, com as da NBR 15.220 [1], mas a proporção de área piso-abertura é bem diferente.

Deste modo, a norma NBR 15.575 [2] indica dimensões mínimas, enquanto a NBR 15.220 recomenda faixas de tamanhos de aberturas, considerando dados climáticos e as faixas de conforto estabelecidas pelo cruzamento de resultados entre o DBG e as Tabelas Mahoney [7].

Destaca-se a diversidade dos climas brasileiros, e a necessidade de estudos que abranjam cada vez mais cidades, de modo a compreender o impacto das diferentes soluções para cada clima, visto a impossibilidade de uma estratégia única para todo o país. No presente artigo, foi estudado o impacto do dimensionamento das aberturas no desempenho global da edificação, a partir das horas anuais de conforto para cada cenário de aberturas.

OBJETIVO

Analisar os impactos causados pela variação do tamanho das aberturas de uma residência unifamiliar no conforto térmico de ambientes de permanência prolongada ventilados naturalmente, em cidades com climas caracteristicamente distintos, e, deste modo, iniciar uma investigação no sentido de contribuir com a definição de áreas das aberturas, chegando-se em soluções arquitetônicas cada vez mais eficientes.

METODOLOGIA

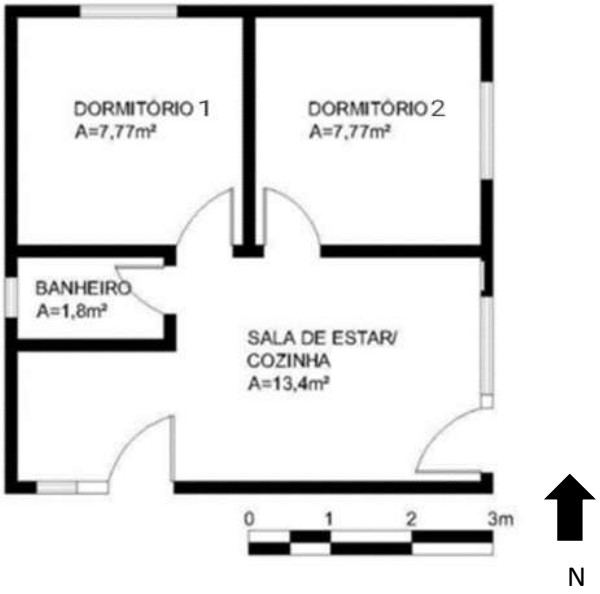
Para analisar o impacto das aberturas no conforto térmico foram realizadas simulações computacionais no programa *EnergyPlus* 9.4, que simula o desempenho térmico e energético de edificações. As simulações foram feitas para uma cidade de cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras conforme a NBR 15.220 [1], considerando um modelo unifamiliar residencial, e quatro tipos de abertura, sendo 3 variações de tamanho e uma opção sombreada para o maior tamanho de abertura. Os resultados

foram contabilizados em horas anuais de conforto térmico e comparados entre si para cada uma das cidades selecionadas. Por fim, foram distinguidas as horas anuais de desconforto por frio ou calor.

CONFIGURAÇÕES DO MODELO

A tipologia arquitetônica escolhida para avaliação foi a de uma habitação unifamiliar de 31m² de área construída, com dois dormitórios e um banheiro, com planta típica de faixas sócio-econômicas mais baixas de programas de habitação social e representativa de edificações unifamiliares brasileiras. Os ambientes analisados foram os de permanência prolongada, sendo estes a sala de estar/cozinha com 13,4m² e os dois quartos com a mesma área de 7,7m², mas com orientações de aberturas distintas, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Tipologia utilizada nas análises



Fonte: [8]

As propriedades térmicas dos componentes foram as mesmas para as simulações em todas as cidades, considerando:

1. Paredes de alvenaria de 9cm, com argamassa de espessura 2 cm em ambos os lados;
2. Laje de piso de 20cm;
3. Cobertura em laje de 20cm, ático e telhas cerâmicas.

As características dos materiais e componentes adotadas estão expostas na Tabela 1, e foram definidas com referência na NBR 15.220 [1], Frota e Schiffer [9] e Ordenes *et al.* [10].

Tabela 1: Características dos materiais e componentes adotados nas simulações

Características	Tijolo Cerâmico	Argamassa	Lajes	Telhas cerâmicas	Vidros
Espessura (m)	0,090	0,025	0,200	0,010	0,003
Calor Específico (J/ kg. K)	920	1000	1000	920	840
Densidade (kg/m³)	1600	1600	2000	2000	2500
Condutividade Térmica (W/m.K)	0,91	1,15	1,75	1,05	1,00
Absortância solar	0,7	0,3	0,7	0,7	-

Fonte: organizado pelas autoras

Para a cobertura foi considerada a existência de ático ventilado com a resistência térmica equivalente a 0,61 m^2.K/W [1].

Foi considerado o modelo de esquadrias de correr em duas folhas para as janelas dos dormitórios e salas com vidros comuns de 3mm (transmitância térmica de 5,75 W/m^2K). No caso de sombreamento das aberturas, considerou-se uma veneziana configurada como veneziana fixa horizontal branca com 50% de refletância.

CIDADES

Foram simuladas oito cidades, uma para cada zona bioclimática conforme a Norma ABNT NBR 15.220 [1]. Foram utilizados para as simulações os arquivos climáticos INMET [11,12] de cada município. As cidades escolhidas estão listadas no Quadro 2.

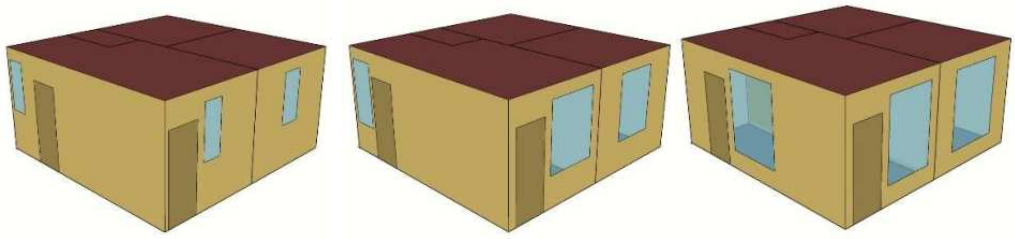
Quadro 2: Cidades escolhidas

Zona	Cidade	Estado
Z01	Curitiba	PR
Z02	Santa Maria	RS
Z03	Belo Horizonte	MG
Z04	Brasília	DF
Z05	Vitória da Conquista	BA
Z06	Campo Grande	MS
Z07	Cuiabá	MT
Z08	Manaus	AM

ABERTURAS

Foram simuladas quatro condições de aberturas, sendo que as três primeiras variam somente em tamanho: pequeno, médio e grande, tomando como referência as recomendações da NBR 15.220 [1] para cada zona bioclimática (Figura 2). A quarta abertura é o tamanho grande configurado com o sombreamento de venezianas. As proporções escolhidas estão na Tabela 2 e estão de acordo com o definido na NBR 15.220 [1]. As janelas foram consideradas de correr em duas folhas, com áreas efetivas de abertura para ventilação de 50%.

Figura 2: Modelos com os diferentes tamanhos de aberturas analisados com: (A) janelas pequenas; (B) janelas médias e (C) janelas grandes



(A) (B) (C)

Tabela 2: Tamanhos das aberturas em relação à área do piso

Tamanho	Proporção à área do piso
Pequena	10%
Média	25%
Grande	40%

SIMULAÇÕES

As simulações foram realizadas no *EnergyPlus* 9.4, configurado para levar em conta a ventilação natural, utilizando o modelo de cálculo *AirFlowNetwork*. Foi também configurado no programa o controle adaptativo da ventilação de acordo com a ASHRAE-55 [3], ou seja, as aberturas eram consideradas abertas apenas quando as temperaturas internas dos ambientes fossem superiores às temperaturas de conforto. A ocorrência desta estratégia foi considerada permitida por 24hs em todos os ambientes.

O entorno da edificação foi configurado como *suburbs*, ou seja, ocupações de baixa densidade. No entanto, edificações vizinhas não foram modeladas, porque o programa EnergyPlus não possui essa funcionalidade. Por ser um estudo inicial, foi considerada somente a orientação norte (quartos voltados para norte).

O cálculo da temperatura do solo foi realizada pelo próprio *EnergyPlus* utilizando o algoritmo do *Slab*.

Os parâmetros de entrada de cargas internas (pessoas, iluminação e equipamentos) e suas respectivas rotinas seguiram o especificado pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) [13], considerando um padrão de ocupação de dois usuários por dormitório. Estes parâmetros foram mantidos constantes em todas as simulações realizadas, conforme a Tabela 3. No caso da sala foi considerada uma carga interna de equipamentos equivalente à 120 W com período de uso das 14h às 22h. A densidade de potência instalada para iluminação foi de 5 W/m² para os quartos e de 6 W/m² para a sala.

Tabela 3: Padrões de ocupação e do sistema de iluminação para dias de semana e final de semana

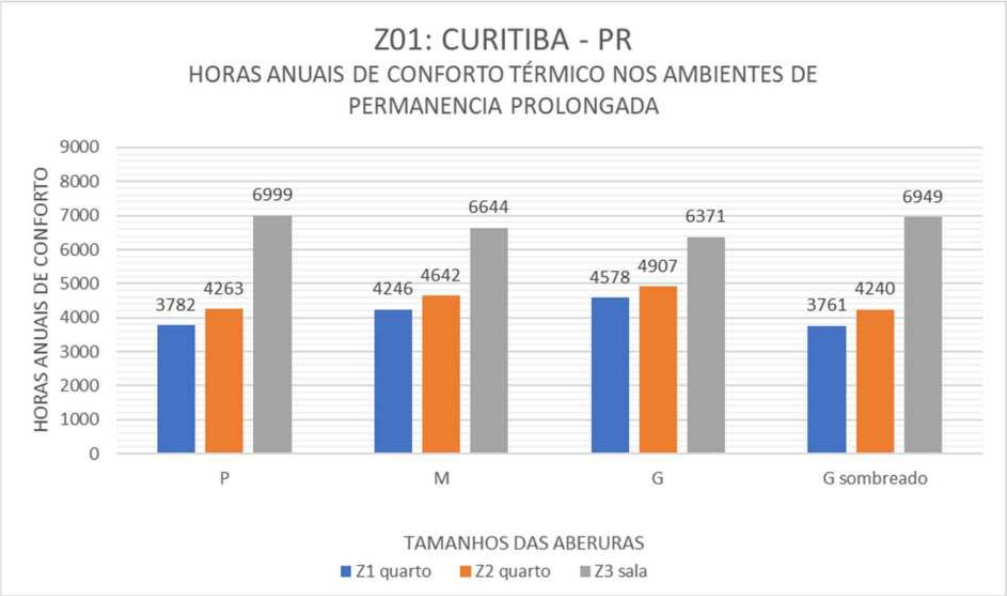
Hora	Ocupação		Iluminação	
	Dormitórios (%)	Sala (%)	Dormitórios (%)	Sala (%)
1h -7h	100	0	0	0
8h-13h	0	0	0	0
14h-15h	0	50	0	0
16h-18h	0	50	0	100
19h-21h	0	100	0	100
22h-23h	100	0	100	0
24h	100	0	0	0

O dado de saída solicitado ao programa de simulação foi a temperatura operativa de cada zona térmica, que leva em conta as trocas de calor causadas por fenômenos térmicos como os de convecção e radiação. As temperaturas operativas das zonas foram comparadas com as faixas de conforto estabelecidas segundo o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 [3] considerando 80% do tempo em conforto. O impacto do tamanho das aberturas foi calculado a partir das horas anuais de conforto. Os ambientes foram considerados em conforto quando a temperatura operativa correspondente estava em uma faixa configurada entre 3,5°C acima ou abaixo da temperatura de conforto térmico adaptativo, de acordo com a ASHRAE 55 [3].

RESULTADOS

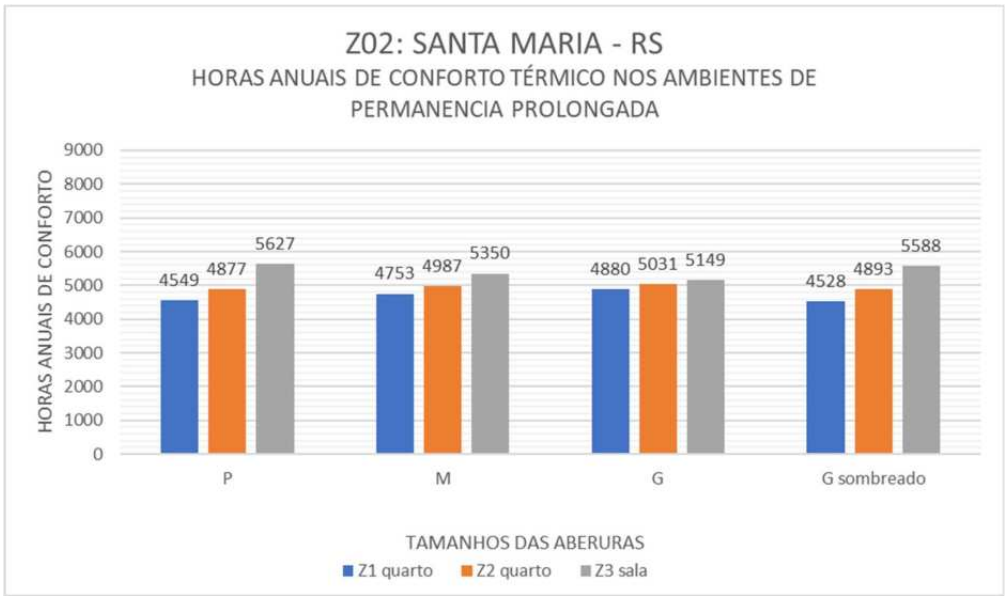
Os resultados são apresentados em horas de conforto anuais por cidade e com os dados separados de acordo com a tipologia de aberturas testadas nos gráficos apresentados nas Figura 3Figura 10. A zona térmica 1 (dormitório 1) é representada na cor azul, a zona térmica 2 (dormitório 2) é representada na cor laranja e a zona térmica 3 (sala) é representada na cor cinza. O eixo vertical mostra as horas anuais de conforto (total de 8760 horas). As diferentes aberturas foram apresentadas em ordem crescente pelas letras P (pequenas) M (médias), G (grandes) e G sombreado (grandes sombreadas).

Figura 3: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Curitiba (ZB 1)



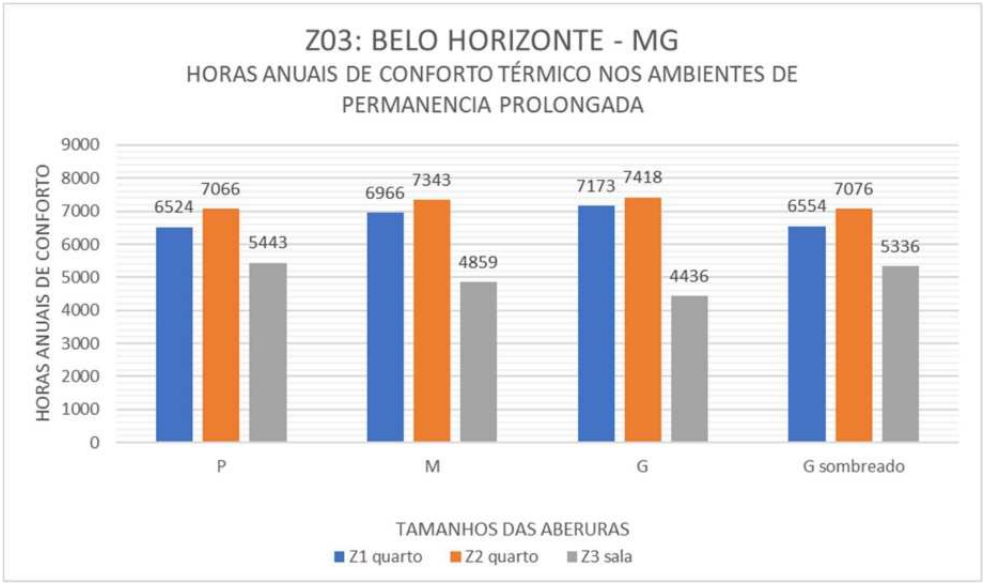
Fonte: as autoras.

Figura 4: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Santa Maria (ZB 2)



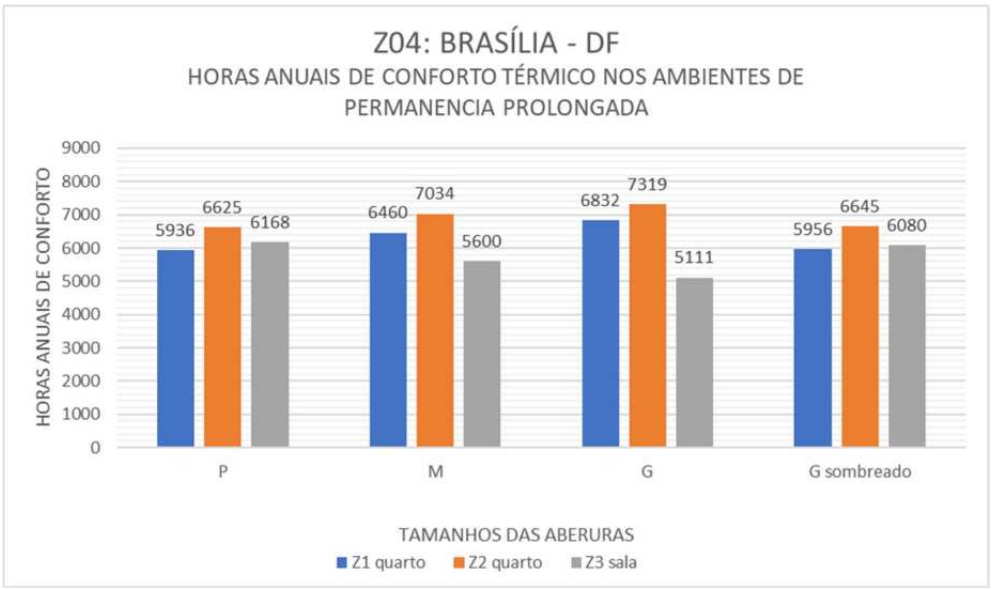
Fonte: as autoras.

Figura 5: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Belo Horizonte (ZB 3)



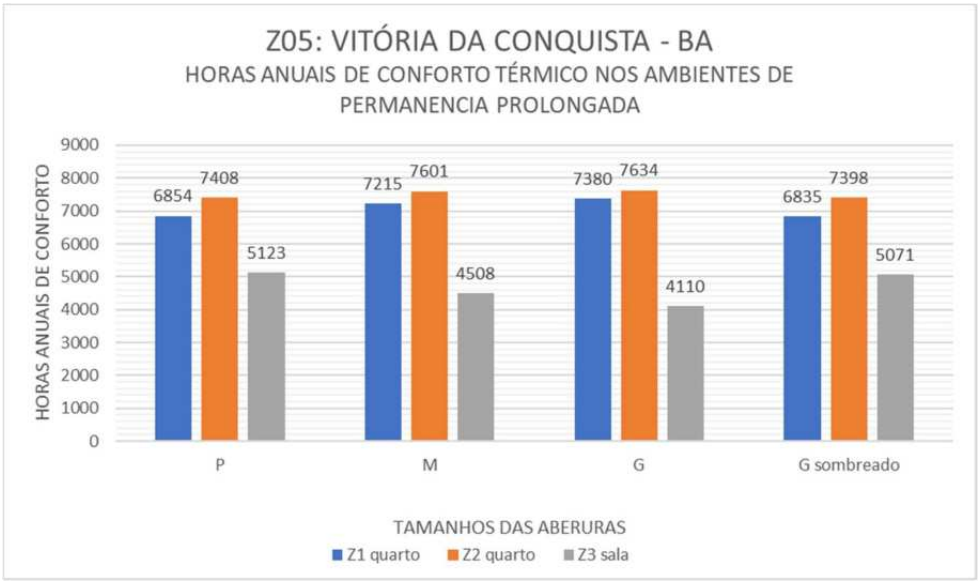
Fonte: as autoras.

Figura 6: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Brasília (ZB 4)



Fonte: as autoras.

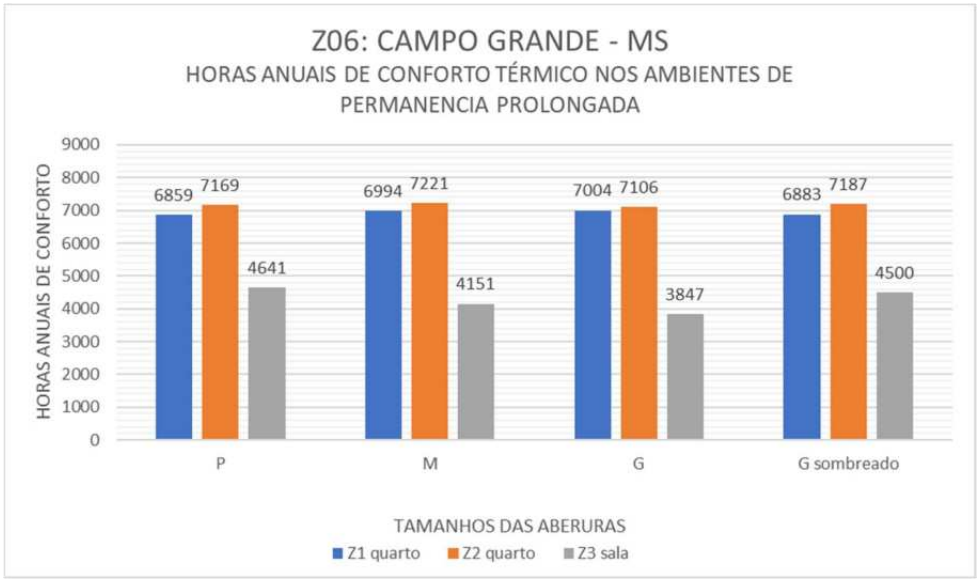
Figura 7: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Vitória da Conquista (ZB 5)



Fonte: as autoras.

Analisandos os resultados apresentados nas Figura 3 aFigura **7**, há um comportamento padrão para as cidades das zonas bioclimáticas 1 a 5, embora ocorra uma variação quantitativa nas horas de conforto. Para as cidades destas zonas, as horas de conforto anuais nos quartos aumentam com o aumento do tamanho das aberturas e diminuem com o sombreamento. Já para a sala o comportamento é o contrário, as horas de conforto diminuem com o aumento das aberturas, mas o efeito do sombreamento das aberturas mostra-se positivo.

Figura 8: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Campo Grande (ZB 6)

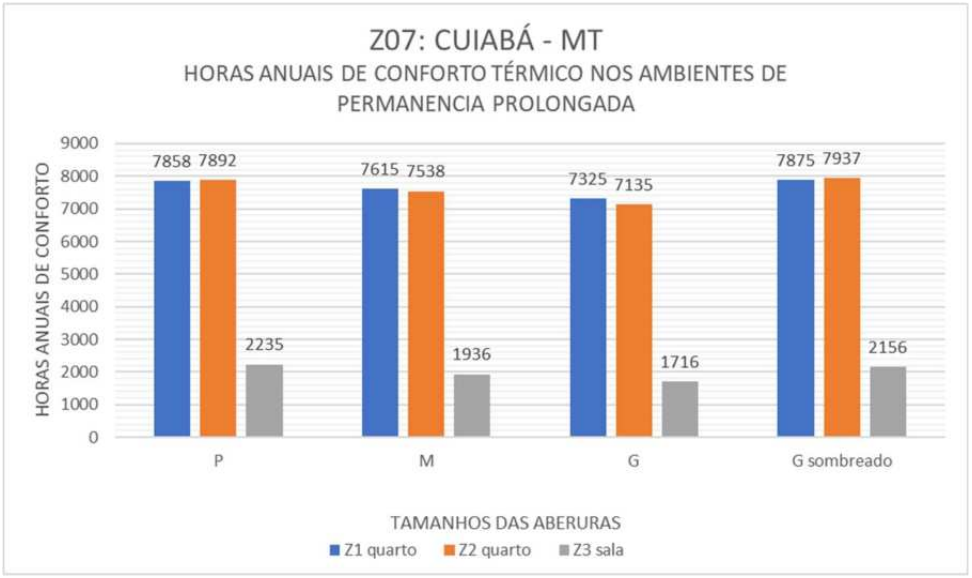


Fonte: as autoras.

A cidade de Campo Grande (MS), representativa da zona bioclimática 6, apresentou um comportamento distinto das demais cidades analisadas. Para esta localidade, os

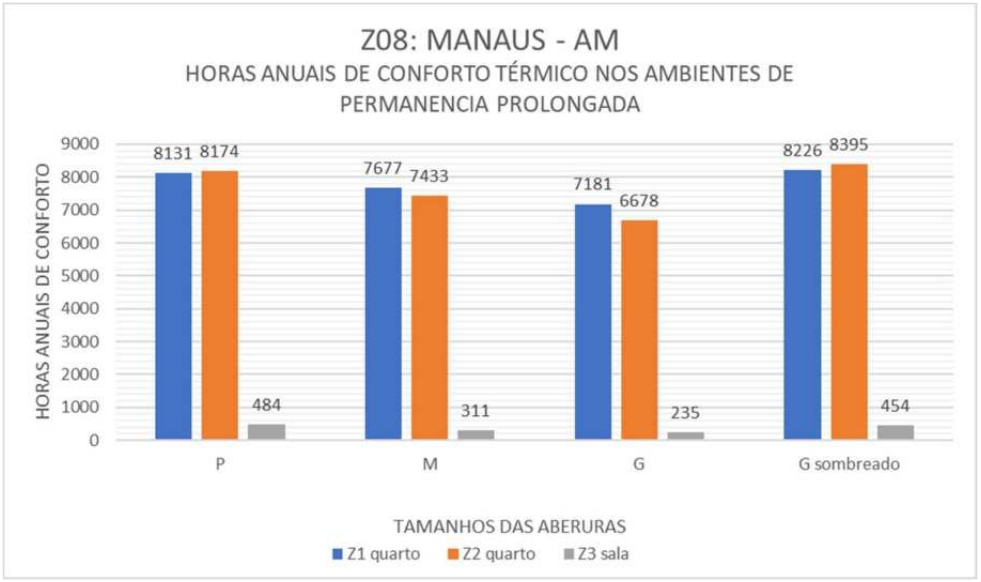
dormitórios apresentaram comportamentos diferenciado entre si. O dormitório 1, com abertura orientada para sul, apresentou um número maior de horas de conforto para aberturas grandes, enquanto o dormitório 2, com abertura orientada para oeste, apresentou um número maior de horas de conforto para aberturas médias. No caso do dormitório 2, as aberturas grandes sombreadas também apresentaram boas condições de conforto, um indicativo da importância do sombreamento para esta localidade. No caso das salas, as aberturas pequenas resultaram em melhores condições de conforto entre as condições avaliadas.

Figura 9: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Cuiabá (ZB 7)



Fonte: as autoras.

Figura 10: Resultados de horas anuais de conforto para as quatro condições de aberturas analisadas para cidade de Manaus (ZB 8)



Fonte: as autoras.

Os resultados de Cuiabá, zona bioclimática 7, e Manaus, zona bioclimática 8, expostos

nas Figura 9 e Figura **10**, apontam números contrastantes com as outras zonas bioclimáticas. Para estas zonas, as aberturas que apresentaram o maior número de horas de conforto foram as aberturas grandes e sombreadas, seguidas pelas aberturas pequenas. Estes resultados deixam em evidência a importância de sombreamento das aberturas para a redução do ganho térmico por radiação para o clima destas zonas bioclimáticas.

Com o intuito de apronfundar a discussão, as horas de desconforto para cada caso foram separadas em horas de desconforto por frio e por calor, conforme é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Horas de desconforto por frio e calor em cada cenário simulado

		quarto 1		quarto 2		sala	
Z01: CURITIBA		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	4967	11	4482	15	98	1663
	M	4494	20	4078	40	82	2034
	G	4129	53	3763	90	78	2311
	Gsombreado	4989	10	4508	12	80	1731
Z02: SANTA MARIA		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	4095	116	3715	168	263	2870
	M	3795	212	3463	310	231	3179
	G	3556	324	3255	474	215	3396
	Gsombreado	4122	110	3731	136	251	2921
Z03: BELO HORIZONTE		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	2233	3	1691	3	5	3312
	M	1781	13	1404	13	4	3897
	G	1493	94	1218	124	2	4322
	Gsombreado	2203	3	1681	3	3	3421
Z04: BRASÍLIA		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	2824	0	2135	0	0	2592
	M	2298	2	1726	0	0	3160
	G	1919	9	1424	17	0	3649
	Gsombreado	2804	0	2115	0	0	2680
Z05:VITÓRIA DA CONQUISTA		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	1865	41	1317	35	0	3637
	M	1416	129	1016	143	0	4252
	G	1108	272	806	320	0	4650
	Gsombreado	1887	38	1341	21	0	3689
Z06: CAMPO GRANDE		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	1780	121	1448	143	83	4036
	M	1525	241	1268	271	74	4535
	G	1334	422	1158	496	62	4851
	Gsombreado	1761	116	1441	132	72	4188
Z07: CUIABÁ		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	609	293	501	367	7	6518
	M	517	628	440	782	5	6819
	G	441	994	392	1233	5	7039
	Gsombreado	625	260	516	307	7	6597
Z08: MANAUS		quarto 1		quarto 2		sala	
		frio	calor	frio	calor	frio	calor
	P	11	618	2	584	0	8276
	M	4	1079	0	1327	0	8449
	G	0	1579	0	2082	0	8525
	Gsombreado	9	525	1	364	0	8306

Fonte: as autoras.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que as aberturas grandes nos quartos para as zonas bioclimáticas 1 e 2 representam uma considerável

redução do desconforto por frio, sendo o ganho térmico por radiação benéfico para estes climas. Já para as salas, o objetivo é reduzir o ganho térmico por calor e, por isso, as aberturas pequenas resultam em menor desconforto por calor. Estas zonas bioclimáticas são caracterizadas por temperaturas mais amenas ao longo do ano e invernos com temparaturas mais baixas.

As zonas bioclimáticas 3 a 5, climas característicos de transição, também apresentaram maior desconforto por frio nos quartos, mas quantitativamente em somatória menor. De modo que os comportamentos em relação ao tamanho das aberturas se repetiram: dormitórios com aberturas grandes e sala com aberturas pequenas ou grandes e sombreadas apresentaram as melhores condições de conforto térmico.

Para a zona bioclimática 6, as aberturas dos dormitórios devem ser médias ou grandes para reduzir o desconforto por frio sem aumento significativo do desconforto por calor. Já nas salas, as aberturas pequenas ou grandes e sombreadas garantem as melhores condições de conforto, reduzindo o desconforto por calor em razão do ganho térmico por radiação.

Por fim, as zonas bioclimáticas 7 e 8, com climas predominantemente quentes, apresentaram a predominância de desconforto por calor nos dormitórios e sala, admitindo melhores condições de conforto para as aberturas grandes sombreadas, que privilegiem a ventilação natural sem ganho térmico considerável por radiação. No etanto, as salas, independentemene da variação das aberturas, passam quase o ano todo em desconforto por calor.

De forma geral, as aberturas grandes (sem sombreamento nos quartos e com sombreamento na sala) obtiveram o maior número de horas de conforto. Comparando os resultados obtidos com os estabelecidos nas NBR 15.220 [1] e NBR 15.575 [2], verifica-se uma contradição, visto que as normas indicam aberturas médias para as zonas bioclimáticas 1 a 5. Já para a zona 6 e 8, os resultados obtidos foram consoantes com as indicações normativas. Para a zona bioclimática 7, há certa correspondência entre os resultados obtidos e a NBR 15.220 [1], que recomenda aberturas pequenas para esta zona. Contudo, as aberturas grandes e sombreadas apresentaram também condições de conforto térmico satisfatórias para a cidade analisada. Os resultados apontam que as simulações podem auxiliar no estabelecimento de recomendações normativas para projeto e que aberturas maiores sombreadas favorecem a ventilação natural sem ganho térmico por radiação considerável. Além disso, o critério de área mínima para ventilação não se mostra o mais efetivo para a obtenção de conforto térmico em países de clima quente.

CONCLUSÕES

A definição do tamanho adequado das aberturas, permitindo a ventilação natural dos ambientes em equilíbrio com o ganho térmico por radiação, é um dos parâmetros de projeto a serem considerados no conforto térmico dos ambientes ventilados naturalmente. Com o intuito de contribuir na investigação da temática, o objetivo do presente trabalho foi analisar os impactos causados pela variação do tamanho das

aberturas no conforto térmico de ambientes de permanência prolongada ventilados naturalmente de uma residência unifamiliar, em cidades com climas caracteristicamente distintos, e, deste modo, iniciar uma investigação no sentido de contribuir com a definição de áreas das aberturas, para dar base a soluções arquitetônicas cada vez mais eficientes.

Para tal, foram realizadas simulações de um modelo residencial unifamiliar para uma cidade pertencente a cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras, variando-se os tamanhos das aberturas em pequenas (10% da área de piso), médias (25% da área de piso) e grandes (40% da área de piso). Ainda, foi avaliada a configuração da abertura grande com o sombreamento por venezianas. Foram obtidos para cada condição analisada a somatória de horas de conforto anuais.

De forma geral, os resultados obtidos para as zonas bioclimáticas 1 a 5 foram aberturas grandes para os dormitórios e aberturas pequenas para as salas ou aberturas grandes e sombreadas. Para a zona bioclimática 6, as aberturas dos dormitórios devem ser médias a grandes e pequenas para as salas. As aberturas grandes nos dormitórios reduzem as horas de desconforto por frio, enquanto as aberturas pequenas na sala reduzem o desconforto por calor. Para as zonas bioclimáticas 7 e 8, todos os ambientes devem possui aberturas grandes e sombreadas para a obtenção de melhores condições de conforto térmico no modelo residencial analisado.

Estes resultados apontam a importância do dispositivo de sombreamento das aberturas no conforto térmico para os climas mais quentes, como as zonas bioclimáticas 6 a 8. Além disso, ocorreram resultados com comportamento diferentes para cada ambiente: de modo geral, a sala apresentou quase totalmente apenas desconforto por calor em todas as zonas, enquanto os resultados para os dois quartos foram muito parecidos e tendendo ao desconforto por frio, com exceção às duas últimas zonas bioclimáticas, que são mais quentes. Este resultado traz ao debate a influência da geometria dos ambientes, da orientação solar e das cargas térmicas internas no conforto térmico.

Os resultados obtidos foram consoantes com o trabalho desenvolvido por Sorgato, Versage e Lamberts [6]. Mas quando se compara as recomendações obtidas no presente trabalho com a Norma NBR 15.220 [1], existem divergências.

A norma recomenda aberturas médias para as zonas bioclimáticas 1 a 5, enquanto o presente trabalho resultou em aberturas grandes para os dormitórios e pequenas para a sala, sendo que para esta, a abertura grande sombreada apresentou resultados muito semelhantes. Para a zona 6, a norma recomenda aberturas médias, os resultados das simulações indicam também aberturas médias para os quartos, mas pequenas ou grandes sombreadas para a sala. Para a zona 7, as recomendações são semelhantes, mas a opção por aberturas grandes e sombreadas também mostrou-se viável no presente trabalho. No caso da zona bioclimática 8, as recomendações obtidas foram coincidentes com as recomendações normativas, de aberturas grandes com sombreamento. Por fim, fica evidente a influência do dimensionamento das aberturas no conforto térmico dos ambientes do modelo analisado. Destaca-se o impacto da geometria nos resultados, como foi visto no contraste entre os quartos e a sala. Como

esta é uma etapa inicial do estudo, como próximas etapas de trabalho pretende-se aprofundar as análises no sentido de compreender melhor os impactos causados pela geometria nos ambientes, analisando diferentes tipologias de edificações residenciais, os impactos de diferentes orientações e do dispositivo de proteção solar adotado.

Os resultados obtidos também questionam a aplicação do critério de área mínima de ventilação em normas e legislações para edificações residenciais ventiladas naturalmente, uma vez que não garantem as condições de conforto térmico adequadas.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[3] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

[4] ALUCCI, M. **Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 2006.

[5] CORBELLA, O.; CORNER, V**. Manual de Arquitetura Bioclimática tropical** para a redução de consumo energético. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

[6] SORGATO, M.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. Nota Técnica nº 03: **A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Florianópolis, 2011.

[7] KOENIGSBERGER, O. H.; MAHONEY, C.; EVANS, J. M. **Climate and House Design**. New York: United Nations, 1970.

[8] SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

[9] FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

[10] ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1**. Laboratório de Eficiência Energética em edificações (LabEEE). Florianópolis, 2003.

[11] LABEEE. **Download: Arquivos Climáticos**, 2010. Disponivel em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 01 Fevereiro 2018.

[12] RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**, 2012. Disponivel em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 01 Fevereiro 2018.

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