CADERNOS
PROARQ 36

ANA CAROLINA DE OLIVEIRA VELOSO, CAMILA CARVALHO FERREIRA E RAQUEL DINIZ OLIVEIRA

Correlação das condições de conforto térmico em habitação naturalmente ventilada: comportamento de grupos climáticos semelhantes conforme nova proposta de classificação climática

Correlation of thermal comfort conditions in naturally ventilated building: similar climatic groups behavior according to a new climate classification proposal

Ana Carolina de Oliveira Veloso

Arquiteta e Urbanista pela UFMG (2009). Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela EA/UFMG (2012). Doutora em Engenharia Mecânica pelo DEMEC/UFMG (2017). Pós-Doutora em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela EA/UFMG (2018 e 2019). Professora do Centro Universitário UNA, Pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído – UFMG e sócia do escritório ARES Eficiência Energética e Sustentabilidade. Área de interesse: Eficiência Energética em Edificações, Simulações Termo-energéticas e de Iluminação, Benchmarking de energia de edifícios e Rotulagem de edifícios.

Architect and Urbanist from UFMG (2009). Master's degree in Built Environment and Sustainable Heritage from EA / UFMG (2012). Ph.D in Mechanical Engineering from DEMEC / UFMG (2017). She has a postdoctoral degree from School of Architecture / UFMG (2018 and 2019). Lecturer in the Centro Universitário UNA – Belo Horizonte, Researcher at the Laboratory of Comfort and Energy Efficiency in the Built Environment Laboratory - UFMG and partner at office ARES Energy Efficiency and Sustainability. Areas of Specialty/Research interests: Energy efficiency in buildings; Thermal, energy and lighting simulations; Energy benchmarking in buildings, Building Labeling.

acoveloso@gmail.com

Camila Carvalho Ferreira

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006), mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela Universidade Federal de Minas Gerais (2010) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Tem pós- doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Viçosa (2018) e em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (2019 e 2020). Experiência na área de Arquitetura Bioclimática, Eficiência Energética e Simulações Termo-energéticas e de Iluminação, tendo realizado consultorias e projetos arquitetônicos na área. Atualmente é especialista em conforto e desempenho térmico de edificações ventiladas naturalmente.

Architect and Urbanist at the Federal University of Minas Gerais (2006), master's degree in Built Environment and Sustainable Patrimony at the Federal University of Minas Gerais (2010) and Ph.D. in Civil Engineering at the Federal University of Ouro Preto (2016). Post-doctorate in Architect and Urbanist at the Federal University of Viçosa (2018) and in Civil Engineering at the Federal University of Ouro Preto (2019 and 2020). Has experience in Bioclimatic Architecture, Energy Efficiency,

Thermal Energy simulations and Daylighting simulations, making consulting services and Architectural Designs. Nowadays, specializes in comfort and thermal performance of naturally ventilated buildings.

camilaccferreira@yahoo.com.br

Raquel Diniz Oliveira

Arquiteta e Urbanista pela PUCMG (2004). Especialista em Arquitetura de Estruturas Metálicas pelo Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix (2005). Mestre em Progettazione di Eccellenza per la Città Storica (2007). Mestre em Arquitetura e Urbanismo (2008) e Doutora em Engenharia de Estruturas (2015) pela UFMG. Pesquisadora e Professora do Departamento de Engenharia Civil (DEC e PPGEC) e Mecânica (PPGEM) do CEFETMG. Áreas de interesse: Desempenho Térmico de Envoltórias, Conforto Térmico dos usuários, Eficiência Energética de Edificações, Rotulagem de edifícios, Simulação Termo-energética, Sustentabilidade no ambiente construído, entre outras.

Bachelor's in Architecture and Urban Planning hold at PUCMG (2004). Steel Structures Specialist hold at Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. M. Arch. (2008) and PhD in Structural Engineering (2015) hold at UFMG/Brazil, as well as Second Level M. Arch. hold at the University of Naples Federico II – UNINA/Italy. Researcher and Tenured Professor of Civil and Mechanical Engineering Department at CEFET MG/Brazil. Areas of Specialty/Research interests: Thermal performance of building envelope systems; Human thermal comfort; Energy efficiency of buildings; environmental certifications; Building energy simulation, Sustainability in the built environment and so on.

raqueldo@gmail.com

Resumo

Avaliar o nível de conforto térmico do usuário é etapa fundamental para a determinação de padrões mínimos de desempenho térmico e energético de edificações. A relação entre a faixa de temperatura interna de conforto térmico aceitável e a temperatura externa em diferentes climas pode servir como base para a definição de estratégias construtivas apropriadas para propiciar conforto térmico, desempenho térmico edilício adequado e, também, economia de energia da edificação. Roriz (2014) propôs uma classificação climática para o Brasil capaz de refletir a sua diversidade climática em relação ao comportamento térmico e energético das edificações. O objetivo deste artigo é avaliar as condições de conforto térmico em diferentes cidades dentro de um mesmo grupo climático, buscando saber se há correspondência entre o agrupamento climático e conforto térmico em edificações residenciais ventiladas naturalmente. A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho foi a adoção de amostragem de cidades ao longo do território brasileiro que refletisse a diversidade climática existente. Uma edificação residencial multifamiliar foi modelada a partir das características termofísicas originais da sua envoltória. Posteriormente, realizou-se simulações no programa EnergyPlus versão 8.7.0 para 102 cidades distintas. A partir da temperatura operativa verificada nos grupos simulados, bem como os dados de temperatura externa, foram calculadas as horas de conforto, desconforto por frio e calor anuais para cada localidade. Os resultados obtidos foram comparados entre cidades pertencentes a um mesmo grupo climático. Em alguns grupos climáticos um comportamento não homogêneo foi observado, indicando a necessidade de avaliações mais profundas com base na nova classificação climática proposta e avaliação das divergências encontradas. Por outro lado, em alguns grupos climáticos verificou-se correspondência entre a classificação climática e conforto térmico para o ambiente interno da edificação residencial ventilada naturalmente, objeto deste estudo. Considerando a edificação avaliada, a classificação climática proposta, não se mostrou suficiente para refletir a diversidade climática brasileira em relação ao comportamento térmico e energético das edificações brasileiras.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Classificação climática. Conforto térmico. Ventilação natural. Normas de desempenho térmico

Abstract

Users thermal comfort evaluation plays an important role in setting a minimum building thermal performance as well as its efficiency. The relation between indoor and outdoor thermal comfort conditions under different climates can be a reference for design decisions for proper thermal comfort levels, suitable building thermal performance, and its energy efficiency. A new climatic classification considering the Brazilian diversity related to thermal and energetic building behavior was presented by Roriz (2014). The authors aimed at assessing the thermal comfort conditions under different climates within the same climatic group. The correspondence between climatic group and thermal comfort was verified in naturally ventilated residential buildings. As a methodology, a sampling of cities throughout the Brazilian territory that reflected its climatic diversity was used. A multifamily residential building was modeled considering the original thermophysical characteristics of its envelope. Subsequently, simulations for 102 different cities were carried out using EnergyPlus software version 8.7.0. The annual hours of comfort and discomfort due to cold and heat were calculated for each location from the operative temperature verified in the simulated groups as well as the external temperature data. The results were compared between cities in the same climate group. A

non-homogeneous behavior was observed in some climatic groups, indicating further assessment needs of this climate groups proposal. On the other hand, in some groups there was a correspondence between climatic group and indoor building thermal comfort. In sum, this proposal showed improvements in comparison to the one currently in force. However, it was not sufficient to reflect the Brazilian climatic diversity concerning the thermal and energetic behavior of Brazilian residential buildings natural ventilated.

***Keywords**: Thermal performance. Climatic classification. Thermal Comfort. Natural ventilation. Thermal performance standards.*

Resumen

Evaluar el nivel de confort térmico del usuario es un paso fundamental para determinar losestándares mínimos de desempeño térmico y energético de los edificios. La relación entre el rango de temperatura interna de confort térmico aceptable y la temperatura externa en diferentes climas puede servir como base para la definición de estrategias constructivas adecuadas que brindarán confort térmico, desempeño térmico y también, un ahorro energético al edificio. Roriz (2014) propuso una clasificación climática brasileña capaz de reflejar toda la diversidad climática existente en el país con relación al comportamiento térmico y energético de las edificaciones. El objetivo de este artículo es evaluar las condiciones de confort térmico en diferentes ciudades dentro de un mismo grupo climático, buscando identificar si existe alguna correspondencia entre el agrupamiento climático y el confort térmico en edificios residenciales ventilados naturalmente. La metodología aplicada para el desarrollo de este estudio fue la adopción de muestreos de ciudades en todo el territorio brasileño que reflejaran la diversidad climática existente. Un edificio residencial multifamiliar ha sido modelado según las características termo físicas originales de su envolvente. Posteriormente, se realizaron simulaciones en el programa EnergyPlus versión 8.7.0 para 102 ciudades diferentes. A partir de la temperatura de funcionamiento verificada en los grupos simulados, así como de los datos de temperatura externa, se calcularon las horas anuales de confort, malestar por frío y calor para cada ubicación. Los resultados obtenidos fueron comparados entre ciudades pertenecientes a un mismo grupo climático. En algunos grupos climáticos se observó un comportamiento no homogéneo, lo que indica la necesidad de realizar evaluaciones más profundas a partir de la nueva clasificación climática propuesta y evaluación de las divergencias encontradas. Por otro lado, en algunos grupos climáticos hubo correspondencia entre la clasificación climática y el confort térmico para el ambiente interno del edificio residencial con ventilación natural, objeto de este estudio. Considerando el edificio evaluado, la clasificación climática propuesta no fue suficiente para reflejar la diversidad climática brasileña con relación al comportamiento térmico y energético de los edificios brasileños.

***Palabras clave**: Rendimiento térmico. Clasificación climática. Confort térmico. Ventilación natural. Estándares de rendimiento térmico.*

Introdução

O estudo do desempenho térmico das edificações tem sido objeto de exame, seja para a avaliação das condições de conforto dos usuários em determinado clima, seja para definir o potencial de eficiência energética em climatização artificial ou mesmo para comprovação de desempenho térmico normativo. Assim, avaliar o nível de conforto térmico é primordial para a determinação dos devidos padrões de desempenho térmico e energético de edificações.

Há uma estreita relação entre o clima, a arquitetura e o conforto térmico do usuário. A especificidade dos diferentes tipos de clima condiciona estratégias variadas (seleção de materiais, condições de exposição ao vento, orientação solar, estratégias passivas, etc.). Deste modo, se mostram necessários estudos que auxiliem a avaliação do desempenho térmico dos edifícios, as condições de conforto dos usuários considerando a variabilidade climática brasileira e possíveis especificidades de cidades localizadas em uma mesma classificação climática. Para otimizar o seu desempenho, as edificações devem estar adequadas ao clima em que estão inseridas, obtendo o melhor proveito das características climáticas favoráveis e evitando aquelas indesejáveis, buscando garantir o conforto do usuário. Esta relação é posta a partir da bioclimatologia, unindo a aplicação da climatologia à resposta de conforto térmico do homem com seu entorno. Ou seja, para uma determinada localidade, os adequados recursos bioclimáticos podem ser obtidos por um procedimento capaz de associar as variáveis climáticas com as condições de conforto térmico solicitadas ao longo do ano. A identificação de zonas geográficas que reúnam os mesmo recursos de projeto para o condicionamento natural das edificações, promovendo o conforto térmico, são denominadas zonas bioclimáticas (EVANS, 2007).

A utilização de classificação climática que embase a relação ao comportamento térmico e energético das edificações é usual em todo o mundo. O *International Energy Conservation Code* (IECC), a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) e o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos utilizam uma classificação climática que divide o país em zonas definidas em função do número de graus-dia para aquecimento, como indicador de rigor climático, e das variáveis climáticas temperatura média do ar e precipitação (DOE, 2016). Outro exemplo é Portugal, que tem estabelecido uma classificação climática para edificações condicionadas naturalmente que divide o país em três zonas climáticas de inverno e três zonas climáticas de verão. Os critérios utilizados para a definição das zonas de inverno foram o número de graus-dia de aquecimento e a duração da estação fria. Já as zonas de verão foram estabelecidas com base nos valores de temperatura externa de projeto para o período de verão (CAMELO et al., 2005). No caso do Chile, o país combina o agrupamento climático normatizado pela NCh 1078 (CHILE, 2008), que determina nove zonas determinadas a partir da temperatura, amplitude diária, insolação, umidade relativa, nebulosidade e pluviosidade (CHILE, 2008), com o zoneamento térmico, que define sete zonas a partir do cálculo de graus-dia de aquecimento (CHILE, 2019). Outros países da América Latina possuem classificações climáticas, tais como Equador e Colômbia. No Equador, a classificação climática é estabelecida normativamente pela NEC-11 (EQUADOR, 2011) a partir da temperatura média anual registrada e do graus-dia de aquecimento e de resfriamento (EQUADOR, 2011; EQUADOR, 2018). Já na Colômbia o agrupamento climático baseou-se nas variáveis temperatura do ar, umidade relativa e altitude (COLOMBIA, 2012).

De forma geral, observou-se que as classificações climáticas são elaboradas por variáveis climáticas capazes de descrever o clima local, associadas a indicadores de rigor climático, usualmente o graus-hora. Em países com grande extensão territorial,

como o Brasil, as variações da latitude possuem maior relevância, seguida das variações de altitude, continentalidade e efeito barreira do relevo (EVANS, 2004). Ou seja, no caso brasileiro, com muito fatores climáticos atuantes ao longo do seu extenso território, a utilização de dados climáticos médios apenas de temperatura para a caracterização grupos climáticos podem resultar na moderação de efeitos significativos, que passam a ser minimizados e a não receber respostas arquitetônicas convenientes. Idealmente, recomenda-se para o agrupamento climáticos outras variáveis além da temperatura devem ser utilizadas, assim como indicadores de rigor climático.

Atualmente, o Brasil tem em vigência apenas um zoneamento bioclimático para edificações unifamiliares de interesse social, descrito na NBR 15.220 (ABNT, 2005). Para a proposição deste zoneamento utilizou-se dados de temperatura média (Tmed), temperatura média das mínimas (Tmin) e temperatura média das máximas (Tmax) e a média mensal da umidade relativa (UR). Como modelo de conforto térmico adotou-se o Diagrama Bioclimático de Givoni (1992). O ponto de interseção entre a Tmed e a UR é plotado na Carta, marcando-se o ponto "a" no qual a umidade absoluta correspondente é considerada como a média mensal (Umed). Obtiveram-se assim, oito zonas para o zoneamento bioclimático brasileiro, conforme indicado na Figura 1.

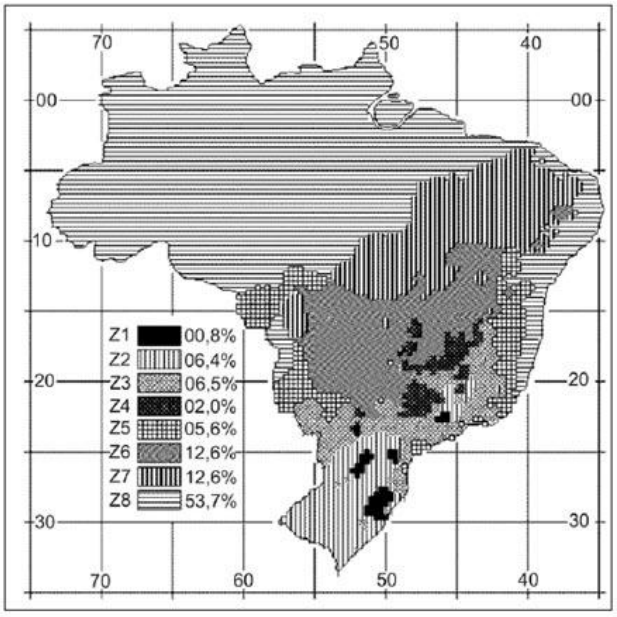

Figura 1 - Mapa do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. (Fonte: ABNT, 1998).

FIGURA1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a ABNT NBR 15.220-3 (2005).

Fonte: ATBN, 2005.

Nesta proposição, as temperaturas médias e a amplitude térmica em diferentes estações do ano apresentam-se como as variáveis fundamentais para determinar as zonas bioclimáticas brasileiras (EVANS, 2007). Estudos acerca do zoneamento blioclimático brasileiro proposto na NBR 15.220-3 (2005) levantaram uma série de questões tais como: imprecisão das zonas bioclimáticas (PEREIRA; ASSIS, 2005; MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012; COSTA; BARBIRATO; GOULART, 2012), a abordagem simplista baseada em dados médios de temperatura e umidade apenas (BASTOS; KRAUSE; BECK, 2007; ROCHA; ASSIS; GONÇALVES, 2009; FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2014; GARCÍA, 2017) e o modelo de conforto adotado (WALSH; LABAKI; CÓSTOLA, 2014). Walsh, Labaki e Cóstola (2014) apontam duas questões relacionadas ao uso do Diagrama de Givoni: a primeira refere-se à zona de conforto fixa estabelecida, apesar de outros estudos apontarem a existência de diferentes zonas de conforto ao longo do território brasileiro e da aceitação internacional pelo modelo de conforto adaptativo; a

segunda questão versa sobre a utilização de dados climáticos mensais e não horários, uma vez que os horários são mais representativos.

Diante das limitações apresentadas pelo zoneamento da NBR 15.220-3 (2005), foi desenvolvida uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil (RORIZ, 2012b). Nesta proposta, 20 zonas bioclimáticas foram definidas a partir de intervalos estabelecidos para os critérios de temperatura média anual (°C), diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal (°C), média anual de amplitude térmica (°C) e a diferença entre a maior e menor amplitude térmica mensal (°C). Este zoneamento está ilustrado na Figura 2.

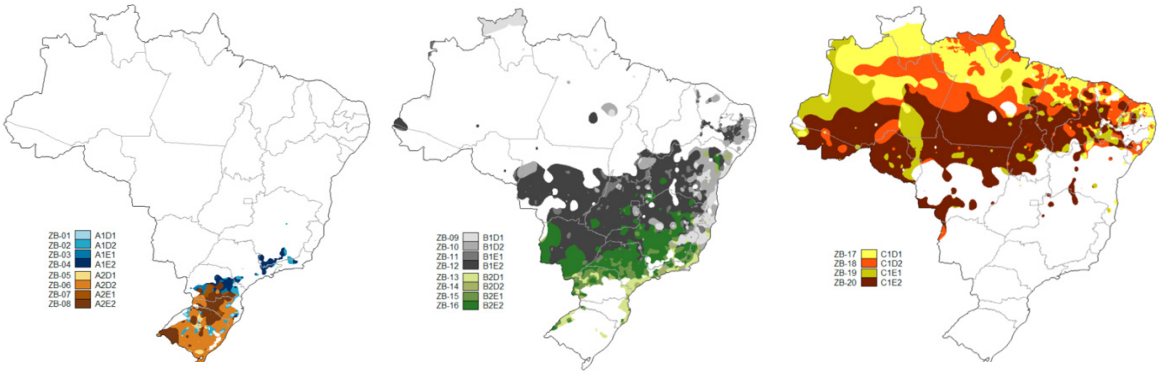

FIGURA 2 - Mapas resultantes da primeira proposta de revisão do zoneamento climático brasileiro: (a) zonas 1 a 8, com temperaturas médias anuais abaixo de 20°C; (b) zonas 9 a 16, com temperaturas médias anuais entre 20°C e 26°C; (c) zonas 17 a 20, com temperaturas médias anuais acima de 26°C.

Fonte: RORIZ, 2012b.

No mesmo ano, esta primeira proposta de revisão do zoneamento foi reavaliada (RORIZ, 2012c), expandindo-se a base de dados climáticos, contemplando dados de 11 fontes que abrangem 1265 localidades do território nacional. Além disso, a houve a adoção de dados de temperatura máxima e mínima medidas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) por meio de satélite. Para a análise de conforto, manteve-se a faixa de conforto sugerida por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, de 18 a 28°C, aplicada a dois parâmetros de indicadores de rigor climático: total anual de graus-horas de calor (GhC) e o total anual de graus-horas de frio (GhF). Desta metodologia resultaram em 16 zonas bioclimáticas, apresentadas na Figura 3 (RORIZ, 2012c).

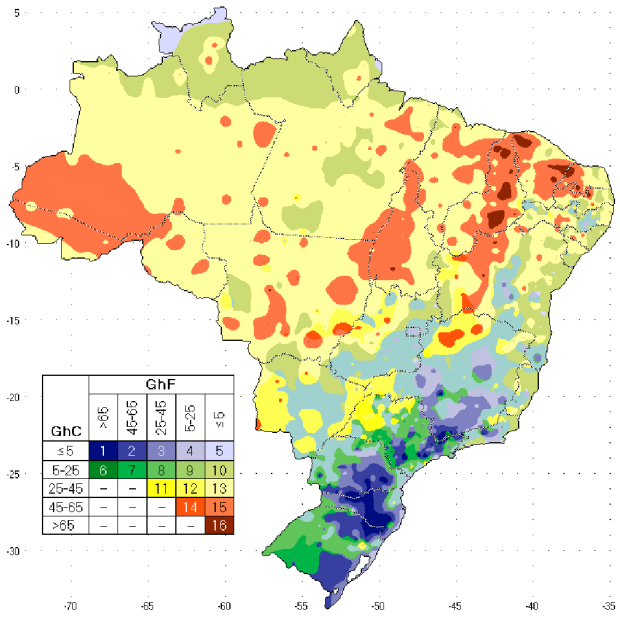

FIGURA 3 - Revisão do zoneamento bioclimático brasileiro.

Fonte: RORIZ, 2012c.

Em uma análise do zoneamento bioclimático brasileiro, Amorim e Carlo (2017) contemplaram os métodos propostos nas revisões e observaram que os critérios definidos para se estabelecerem as zonas climáticas podem gerar resultados bem distintos em função de pequenas variações. Ou seja, o modelo da segunda proposta se apresentou sensível às alterações das variáveis analisadas.

Além disso, a metodologia de graus-hora desconsidera os efeitos da umidade e da radiação solar no desempenho térmico e no consumo energético dos edifícios (WALSH, LABAKI, CÓSTOLA, 2014), variáveis estas que podem ter impacto consideráveis em edificações condicionadas naturalmente, sob o regime transiente de trocas de calor.

De forma complementar, Roriz (2013a) propôs uma nova classificação climática com o objetivo de dividir o território brasileiro em grupos que refletissem a diversidade climática brasileira em relação ao comportamento térmico e energético das edificações. A proposta tomou por base dados climáticos de temperaturas médias mensais (mínima, média e máxima do ar), a temperatura média anual e a amplitude média anual; e adotou quatro parâmetros para classificação climática: a) temperatura média anual (TMA); b) diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal (dT); c) amplitude média anual (AMA); e d) diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal (dA). Estes parâmetros foram divididos em intervalos de acordo com a análise dos dados climáticos e mostraram-se bastante sensíveis aos seus limites, em que pequenas alterações destes resultavam em importantes diferenças na abrangência e na distribuição geográfica das zonas (AMORIM e CARLO, 2017). Resultaram desta metodologia 24 grupos climáticos (RORIZ, 2013a).

Uma segunda versão da classificação climática foi divulgada ainda em 2013 (RORIZ, 2013b). Nela, novos intervalos em função da Temperaturas Médias Anuais (TMA) e da Amplitude Média Anual (AMA) foram propostos. Os intervalos para classificação dos climas foram feitos função de TMA, AMA, o desvio padrão da temperatura e o desvio padrão da amplitude e adotados valores próximos às respectivas medianas. Por fim, uma terceira proposta para a classificação climática foi apresentada (RORIZ, 2014), acrescentando à base climática os arquivos EPW (Energyplus Weather Data). A partir desta metodologia se mantiveram os 24 grupos climáticos apenas alterando os limites dos grupos (RORIZ, 2014), e estão apresentados na Figura 4.

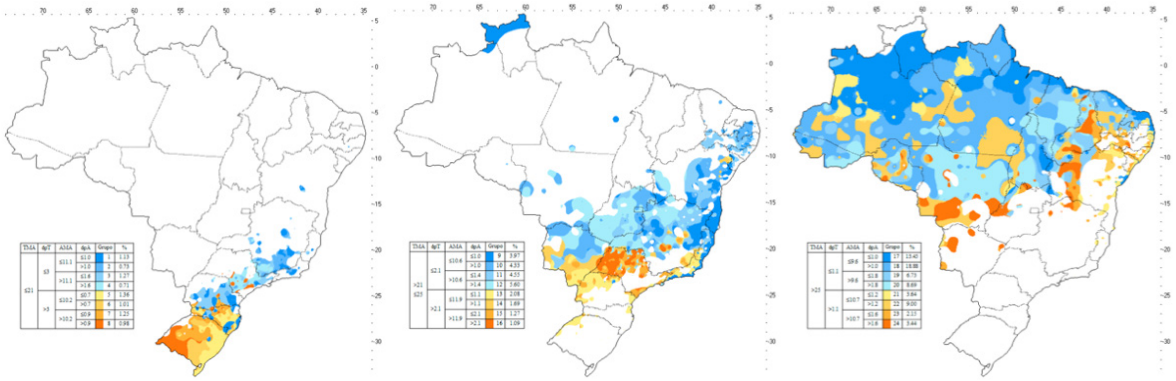

FIGURA 4 - Mapas resultantes da proposta de classificação climática brasileira: (a) grupos 1 a 8, com temperaturas médias anuais abaixo de 21°C; (b) grupos 9 a 16, com temperaturas médias anuais entre 21°C e 25°C; (c) grupos 17 a 20, com temperaturas médias anuais acima de 25°C.

Fonte: RORIZ, 2014.

Os estudos referentes a esta classificação climática proposta ainda são incipientes, enfatizando, portanto, a relevância do presente estudo. Leite et al. (2020) realizaram uma análise estatística por meio de testes de inferência dos dados climáticos das cidades de Joinville (SC) e Niterói (RJ), ambas pertencentes do grupo climático 9 conforme Roriz (2014). As autoras concluíram haver diferenças significativas nas características climáticas das cidades, podendo representar grande influência no desempenho térmico das edificações (LEITE et al., 2020). No trabalho desenvolvido

por Invidiata et al. (2016), analisou-se o agrupamento de 411 cidades brasileiras a partir de indicadores de desempenho de edificações (graus hora de resfriamento e aquecimento, para as temperaturas base de 26°C e 18°C, respectivamente) para um modelo de edificação residencial unifamiliar ventilado naturalmente. Este agrupamento foi comparado aos grupos propostos por Roriz (2014) e concluiu-se que, para a tipologia em análise, estes grupos poderiam ser reduzidos de 24 para apenas 5 grupos climáticos (INVIDIATA et al., 2016). Ressalva-se aqui a definição das temperaturas base para o cálculo do graus hora, que foram fixas e aplicadas para todo o Brasil, desconsiderando, assim, a possibilidade de aclimatação e de adaptação da população ao clima local.

Do ponto de vista da Climatologia, as classificações climáticas agrupam regiões do globo terrestre em que os efeitos combinados dos diversos fatores climáticos resultam em condições climáticas aproximadamente homogêneas. As classificações que se baseiam apenas nos fatores estáticos, atingem apenas as escalas zonais e regionais. Para se atingir a escala local, deve-se incluir também os fatores dinâmicos na classificação (NIMER, 1979). Neste contexto, existe uma corrente de climatologistas que entende a necessidade de se recorrer à dinâmica atmosférica para que se possa definir adequadamente a climática regional, compreendendo assim não só a gênese dos fenômenos, mas também a ineficiência dos valores médios dos elementos climáticos para a caracterização climática (MONTEIRO, 1962).

O agrupamento climático proposto por Roriz (2014) está sendo incorporado como base para a descrição climática do território brasileiro, para aplicação nos novos métodos de avaliação do INI-C[1] e INI-R[2]. Uma vez que, para se obter desempenho térmico e eficiência energética, é preciso primeiramente garantir o conforto térmico do usuário, o objetivo deste artigo consistiu em avaliar as condições de conforto térmico em diferentes cidades dentro de um mesmo grupo climático, buscando correlação entre o agrupamento climático e conforto térmico em edificações residenciais ventiladas naturalmente, que possa embasar sua aplicação em normativas de desempenho térmico e etiquetas de eficiência energética de edificações no Brasil.

Metodologia

Para avaliar o conforto térmico de diferentes localidades, realizou-se simulações de conforto térmico no *software* EnergyPlus versão 8.7.0. Um arquivo comum foi gerado constando a mesma geometria da edificação, propriedades térmicas das envoltórias, controle de ventilação e cargas internas. A única variação realizada refere-se à localização e, consequentemente, ao arquivo climático utilizado.

As simulações foram realizadas para o período de um ano e para 102 cidades brasileiras, conforme amostragem efetivada. Os resultados de horas de conforto gerados foram comparados e, assim, avaliados os comportamentos térmicos da edificação para cada um dos grupos climáticos.

Seleção das localidades para estudo

Para uma amostragem representativa do número de localidades a serem analisadas, a amostra mínima adotada por Carlo (2008) deve ser de 98 localidades considerando um erro de 10% e um total de 5.564 cidades. Este mesmo padrão foi seguido no presente

1 Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos - INI-C (INMETRO, 2020a).

2 Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - INI-R (INMETRO, 2020b).

trabalho. As 98 localidades foram amostradas por estratificação de acordo com a distribuição dos grupos climáticos de Roriz (2014) e de forma aleatória conforme a latitude (Tabela 1).

TABELA 1 - Amostragem de cidades por grupo climático de Roriz (2014) para o território brasileiro..

Grupo Climático	Nº de cidades	Percentual [%]	Nº de amostras mínimas	Nº de amostras utilizadas
1a	133	0,024	2	3
1b	28	0,005	0	2
2	171	0,031	3	3
3	194	0.035	3	3
4	159	0.029	3	3
5	198	0.036	3	3
6	145	0.026	3	3
7	299	0.054	5	5
8	81	0.015	1	3
9	296	0.053	5	5
10	331	0.059	6	6
11	363	0.065	6	6
12	314	0.056	6	6
13	357	0.064	6	6
14	197	0.035	3	3
15	251	0.045	4	4
16	242	0.043	4	4
17	251	0.045	4	4
18	190	0.034	3	3
19	310	0.056	5	5
20	278	0.050	5	5
21	183	0.033	3	3
22	171	0.031	3	3
23	239	0.043	4	4
24	183	0.033	3	3
Total	**5564**	**100,00%**	**98**	**102**

FIGURA 5 - Distribuição das cidades amostradas ao longo do território brasileiro.

Algumas alterações na distribuição da amostragem foram necessárias em razão da inexistência do número necessário de arquivos climáticos por grupo climático. Como o objetivo do trabalho envolve a comparação de cidades dentro de um mesmo grupo climático, trabalhou-se com um mínimo de três amostras por grupo climático. Assim sendo, os grupos que indicaram amostras nula ou igual a um ou dois (grupo 1a, 1b e 8), tiveram amostras adicionadas. Apenas o grupo 1b ficou com apenas duas amostras em função da limitação de arquivos climáticos disponíveis. Ao final, o número total amostrado foi de 102 cidades. A distribuição das cidades por latitude ao longo do território brasileiro está apresentada na Figura 5.

Estudo de caso

Para a avaliação do desempenho térmico para diferentes climas, adotou-se como estudo de caso uma edificação multifamiliar de cinco pavimentos e quatro apartamentos por andar, totalizando 20 apartamentos. Cada apartamento é composto por cinco cômodos (dormitório 1, dormitório 2, banheiro, sala, cozinha e área de serviço). A unidade habitacional analisada foi uma das quatro que se encontra no último pavimento, possibilitando assim, a análise dos efeitos da radiação na cobertura. A edificação foi modelada conforme suas características geométricas (Figura 6).

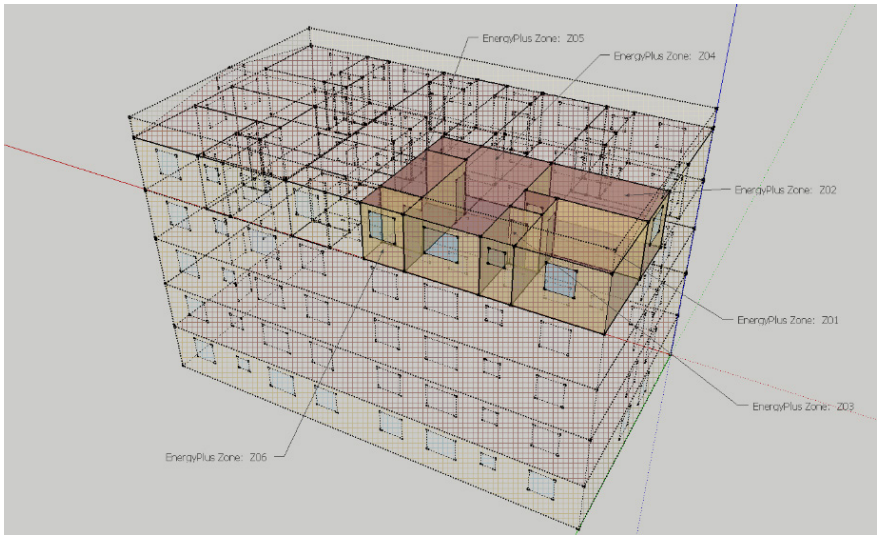

FIGURA 6 - Modelo tridimensional da edificação com a localização das zonas térmicas em análise.

A unidade habitacional foi dividida em seis zonas térmicas (dormitórios zonas térmicas 1 e 2, banheiro zona térmica 3, sala zona térmica 4, cozinha zona térmica 5 e área de serviço zona térmica 6), conforme mostrado na Figura 6. Para a análise utilizou-se somente os ambientes de permanência prolongada, ou seja, dormitórios e sala (destacados em marrom na Figura 7).

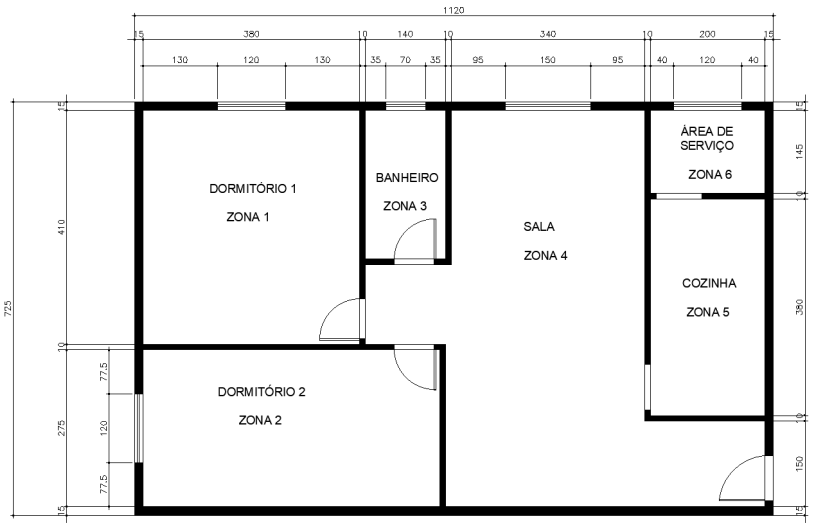

FIGURA 7 - Planta baixa da edificação em estudo.

Parâmetros de entrada das características termofísicas das envoltórias

A cobertura do modelo é composta por laje de concreto, Poliestireno Expandido - EPS e argamassa. Considerou-se a transmitância térmica de 2,29 W/m²K (Ucob) e a absortância de 0,30. As paredes internas e externas são de bloco cerâmico de 9cm e argamassa interna e externa de 2,5cm. A transmitância térmica considerada foi 2,46 W/m²K (Upar) e a absortância de 0,30. A abertura na Z02 (dormitório) é de 10%, na Z03 (dormitório) é de 9,2% e na Z06 (sala) é de 7,7% em relação a área de piso do ambiente.

Controle da ventilação natural

Para uma avaliação mais precisa do impacto da ventilação no desempenho térmico da edificação, optou-se por simular a ventilação natural no módulo "Airflow Network" do EnergyPlus. Os coeficientes de pressão foram calculados pelo programa. Os coeficientes de descarga adotados foram de 0,65 para as portas e de 0,6 para as janelas, conforme United States Department of Energy (DOE, 2016). Como controle da ventilação aplicou-se o de conforto adaptativo conforme o modelo da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), ou seja, só haverá ventilação natural no ambiente quando a temperatura interna da zona estiver acima do limite superior da zona de conforto do modelo.

Cargas Internas e Rotinas

A determinação das rotinas (Tabela 2), padrão de uso e densidade instalada dos equipamentos (Tabela 3) e das taxas metabólicas (Tabela 4) foram especificadas de acordo com o especificado no RTQ-R (BRASIL, 2012). O padrão mínimo de ocupação dos dormitórios foi de duas pessoas por ambiente e na sala foi determinada para ser utilizada por todos os usuários dos dormitórios. A densidade de potência instalada para iluminação foi de 5 W/m² para os quartos e de 6 W/m² para a sala.

TABELA 2 - Padrões de ocupação e do sistema de iluminação para dias de semana e final de semana.

Fonte: adaptado de RTQ-R (BRASIL, 2012)

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

TABELA 3 - Padrão de uso e densidade de cargas internas de equipamentos.

Fonte: adaptado de RTQ-R (BRASIL, 2012)

Ambiente	Período de uso	Potência (W/m²)
Sala	24 hrs	1,5

TABELA 4 - Taxas metabólicas para cada atividade

Fonte: adaptado de RTQ-R (BRASIL, 2012)

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m2)	Calor produzido para área de pele = 1,80m² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Arquivos climáticos

Uma das limitações encontradas no trabalho refere-se à disponibilidade de número inexpressivo de arquivos climáticos para o Brasil. Encontram-se disponíveis apenas 27 arquivos climáticos TRY. Para suprir essa limitação, de forma complementar, adotou-se também os arquivos climáticos desenvolvidos por Roriz (2012a) no formato TMY e TMYx, com as correções no cálculo da nebulosidade realizado pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE UFSC, 2020).

Saídas das simulações

As variáveis de saída solicitadas pelo software de simulação, ao longo de um ano de referência, foram a temperatura externa do ar horária (°C) e a temperatura operativa interna horária das zonas térmicas (°C) para a verificação da condição de conforto ou não.

Horas de Conforto

Para a quantificação das horas de conforto, utilizou-se o modelo desenvolvido por De Dear e Brager (2002), adotado pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017). A faixa de conforto adotada foi a de ± 3,5 °C, de acordo com a recomendação desta norma. Quando as temperaturas operativas se apresentaram dentro da faixa, contabilizou-as como horas de conforto, caso contrário, como horas de desconforto.

O período de análise estabelecido foi o de não repouso (08 às 21 h), em razão das limitações do modelo de conforto para o período noturno, no qual há uma alteração nas atividades do usuário e no isolamento da vestimenta. Segundo a ASHRAE (2017), o modelo de conforto adaptativo adotado na norma é aplicável para a determinação das condições de conforto em ambientes naturalmente ventilados, em que a atividade física dos usuários seja equivalente a atividades típicas de escritórios (entre 1,0 e 1,3 met). Além disso, os usuários podem adaptar livremente suas roupas às condições térmicas, dentro de uma faixa entre 0,5 a 1,0 clo, desde que a temperatura média do ar se encontre na faixa de 10°C a 33,5°C (ASHRAE, 2017).

Tratamento estatístico

As simulações foram realizadas para os dormitórios e sala. A partir das horas de conforto obtidas para cada um destes ambientes, foi feita a média ponderada da somatória de horas de conforto pelas áreas dos ambientes, para a obtenção das horas de conforto e desconforto média da habitação.

Resultados e discussões

Para cada uma das localidades analisadas calculou-se as horas de conforto e/ou desconforto por frio e por calor, tanto para o clima externo como para o clima interno da edificação. Os resultados obtidos por grupo climático foram sintetizados na Tabela 5.

TABELA 5 - Resumo resultados das horas de conforto e de desconforto para as localidades analisadas por grupo climático.

Grupos	Cidades	Clima Externo			Clima Interno Área: 58,3 m²		
		Conforto	Frio	Calor	Conforto	Frio	Calor
1A	São Paulo (SP)	47,2%	45,5%	7,2%	72,6%	23,0%	4,4%
	São Joaquim (SC)	20,3%	79,5%	0,1%	42,0%	57,9%	0,0%
	Santa Tereza (ES)	43,5%	55,4%	1,1%	83,9%	12,8%	3,3%
1B	Florianópolis (SC)	65,7%	31,3%	3,0%	75,2%	16,7%	8,1%
	São José dos Ausentes (RS)	20,7%	79,1%	0,2%	40,8%	59,1%	0,0%
2A	Curitiba (PR)	39,5%	56,8%	3,7%	64,8%	33,9%	1,3%
	Teresópolis (RJ)	40,7%	58,0%	1,3%	74,0%	22,8%	3,2%
	Viçosa (MG)	60,1%	34,0%	5,9%	86,7%	8,0%	5,3%
3A	Petrópolis (RJ)	9,5%	90,5%	0,0%	41,2%	58,8%	0,0%
	São José dos Campos (SP)	50,1%	34,0%	15,8%	73,9%	4,9%	21,1%
	Campo Mourão (PR)	59,2%	27,0%	13,7%	44,6%	8,2%	47,2%
4A	Caldas (MG)	56,5%	39,1%	4,3%	78,5%	19,1%	2,3%
	Patrocínio (MG)	59,8%	29,6%	10,6%	91,2%	3,3%	5,5%
5A	Pelotas (RS)	42,7%	45,9%	11,4%	56,9%	22,1%	21,0%
	Novo Horizonte (SC)	45,2%	52,1%	2,7%	63,9%	32,0%	4,1%
	Lages (SC)	32,5%	63,7%	3,8%	65,0%	20,8%	14,2%

G6	Passo Fundo (RS)	41,3%	52,0%	6,7%	60,7%	33,9%	5,3%
	Inácio Martins (PR)	36,5%	63,2%	0,3%	62,7%	36,2%	1,1%
	Dionísio Cerqueira (SC)	48,3%	45,9%	5,8%	62,1%	29,5%	8,4%
G7	Irati (PR)	50,6%	44,3%	4,9%	69,0%	6,7%	24,3%
	Caçador (SC)	39,7%	56,4%	3,9%	55,0%	44,0%	1,0%
	Chapecó (SC)	50,5%	38,6%	10,9%	65,7%	12,9%	21,4%
	Bom Jesus (RS)	35,2%	62,6%	2,1%	67,7%	22,3%	10,0%
	Vacaria (RS)	36,6%	60,4%	3,0%	54,8%	43,2%	2,0%
G8	Ivaí (PR)	49,5%	40,3%	10,2%	65,6%	24,9%	9,5%
	Santa Maria (RS)	40,3%	45,8%	13,9%	51,5%	31,5%	17,0%
	Urussanga (SC)	47,3%	40,6%	12,1%	57,9%	26,1%	15,9%
G9	Ilhéus (BA)	88,7%	6,9%	4,4%	66,4%	0,1%	33,5%
	Joinville (SC)	54,3%	33,6%	12,1%	67,4%	8,4%	24,2%
	Linhares (ES)	73,4%	8,9%	17,7%	57,6%	0,0%	42,3%
	Niterói (RJ)	71,1%	24,6%	4,3%	81,2%	4,3%	14,5%
	Timoteo (MG)	71,3%	18,3%	10,3%	84,5%	0,4%	15,1%
G10	Belo Horizonte (MG)	69,7%	18,5%	11,8%	58,1%	0,0%	41,9%
	Brasília (DF)	66,1%	22,4%	11,5%	76,6%	0,0%	23,4%
	Campo Grande (MS)	57,5%	15,1%	27,4%	39,9%	0,3%	59,8%
	Franca (SP)	63,3%	30,6%	6,1%	89,8%	4,9%	5,3%
	Garanhuns (PE)	59,6%	33,3%	7,0%	94,2%	0,0%	5,8%
	Rio Verde (GO)	64,4%	17,7%	17,9%	86,9%	0,6%	12,4%
G11	Anápolis (GO)	67,4%	23,8%	8,7%	64,6%	0,1%	35,3%
	Bambuí (MG)	70,2%	16,2%	13,6%	35,5%	0,0%	64,4%
	Gujará-mirim (RO)	59,4%	7,0%	33,5%	31,3%	0,0%	68,6%
	Irecê (BA)	68,5%	6,6%	24,9%	72,2%	0,0%	27,7%
	Triunfo (PE)	79,4%	15,1%	5,5%	46,5%	0,0%	53,4%
G12	Bauru (SP)	54,2%	31,5%	14,2%	81,1%	7,9%	11,0%
	Correntina (BA)	56,0%	8,6%	35,4%	64,8%	0,0%	35,2%
	Corumbá (MS)	47,5%	14,5%	38,0%	35,7%	3,9%	60,4%
	Jataí (GO)	52,1%	23,6%	24,3%	64,2%	8,2%	27,6%
	Montes Claros (MG)	62,1%	9,1%	28,7%	76,3%	0,4%	23,2%
	Pirapora (MG)	62,7%	10,1%	27,2%	64,0%	0,0%	36,0%

TABELA 5 (continuação) - Resumo resultados das horas de conforto e de desconforto para as localidades analisadas por grupo climático.

Grupos	Cidades	Clima Externo			Clima Interno Área: 58,3 m²		
		Conforto	*Frio*	*Calor*	*Conforto*	*Frio*	*Calor*
G13	Cidade Gaúcha (PR)	52,1%	23,6%	24,3%	64,2%	8,2%	27,6%
	Muriaé (MG)	63,3%	16,7%	20,0%	68,5%	0,5%	31,0%
	Rio de Janeiro (RJ)	80,5%	11,0%	8,5%	40,6%	0,1%	59,2%
	Sete Quedas (MS)	51,4%	25,3%	23,3%	60,9%	11,1%	28,0%
	Vitória (ES)	73,4%	7,8%	18,8%	54,3%	0,1%	45,6%
G14	Cambuci (RJ)	63,7%	15,1%	21,2%	67,3%	1,2%	31,5%
	Maringá (PR)	61,6%	19,1%	19,2%	66,1%	8,4%	25,6%
	Ponta Porã (MS)	51,0%	29,3%	19,6%	68,2%	13,3%	18,5%
	Serrinha (BA)	67,1%	8,5%	24,4%	61,6%	0,0%	38,3%
G15	Amambaí (MS)	48,5%	24,2%	27,3%	63,7%	10,4%	25,9%
	Campinas (SP)	51,8%	24,8%	23,5%	78,0%	6,0%	16,0%
	Iraí (RS)	40,7%	33,8%	25,5%	44,9%	16,9%	38,2%
	Londrina (PR)	57,0%	25,0%	18,0%	71,4%	10,2%	18,4%
G16	Florestal (MG)	56,1%	26,2%	17,8%	79,3%	5,5%	15,1%
	Ituverava (SP)	50,8%	17,9%	31,3%	76,0%	4,7%	19,3%
	Rio Brilhante (MS)	47,9%	17,3%	34,7%	56,0%	5,3%	38,7%
	São Romão (MG)	58,2%	9,7%	32,1%	54,0%	0,0%	46,0%
G17	Tucuruí (PA)	55,5%	1,5%	43,0%	11,8%	0,0%	88,2%
	Boa Vista (RR)	60,7%	0,3%	39,0%	33,3%	0,0%	66,7%
	São Luís (MA)	63,4%	0,4%	36,3%	0,9%	0,0%	99,0%
	Fortaleza (CE)	76,4%	0,7%	22,8%	0,6%	0,0%	99,4%
G18	Manaus (AM)	66,1%	2,5%	31,4%	29,4%	0,0%	70,6%
	Natal (RN)	79,5%	1,2%	19,3%	11,7%	0,0%	88,2%
	Macapá (AP)	51,9%	0,1%	48,0%	29,7%	0,0%	70,2%

G19	Cruzeiro do Sul (AC)	62,5%	4,8%	32,6%	27,0%	0,1%	72,9%
	Taguatinga (TO)	60,2%	1,0%	38,8%	6,4%	0,0%	93,5%
	Goiás (GO)	57,1%	1,8%	41,1%	9,4%	0,0%	90,6%
	Zé Doca (MA)	61,3%	0,5%	38,3%	5,3%	0,0%	94,7%
	Altamira (PA)	51,9%	3,1%	45,0%	15,1%	0,0%	84,9%
G20	Teresina (PI)	40,2%	0,3%	59,5%	15,9%	0,0%	84,0%
	Peixe (TO)	48,5%	0,5%	50,9%	4,2%	0,0%	95,8%
	Imperatriz (MA)	45,4%	2,4%	52,2%	18,7%	0,0%	81,3%
	Sobral (CE)	45,7%	0,5%	53,7%	1,2%	0,0%	98,7%
	Sinop (MT)	61,0%	4,1%	34,8%	50,9%	0,0%	49,1%
G21	Aimorés (MG)	57,8%	3,0%	39,2%	5,7%	0,0%	94,3%
	Aracaju (SE)	90,6%	1,1%	8,3%	24,2%	0,0%	75,8%
	Salvador (BA)	85,9%	2,5%	11,6%	20,9%	0,0%	79,1%
G22	Petrolina (PE)	58,4%	1,4%	40,2%	37,3%	0,0%	62,7%
	Coxim (MS)	52,3%	10,5%	37,1%	50,3%	0,7%	49,0%
	Paritins (AM)	66,7%	2,3%	30,9%	7,8%	0,0%	92,2%
G23	Picos (PI)	32,7%	0,1%	67,1%	2,3%	0,0%	97,7%
	Espinosa (MG)	64,5%	4,9%	30,5%	59,3%	0,0%	40,6%
	Cipó (BA)	65,6%	1,4%	32,9%	8,9%	0,0%	91,1%
	Alta Floresta (MT)	60,4%	7,2%	32,4%	50,0%	0,0%	50,0%
G24	Cuiabá (MT)	48,3%	7,6%	44,1%	39,0%	0,6%	60,4%
	Arinos (MG)	56,7%	1,4%	41,9%	5,5%	0,0%	94,5%
	Bom Jesus da Lapa (BA)	44,8%	8,3%	47,0%	21,8%	0,0%	78,2%

Analisando o quanto o contexto externo oferta de condições de conforto e de rigor térmico por frio ou calor, nota-se uma hegemonia de comportamento das cidades nos grupos 4, 8, 17, 19 e 24. Os demais grupos apresentam flutuações nos comportamentos entre as cidades quanto às condições de conforto e de rigor térmico.

Os grupos 1a, 1b, 2, 3, 5 a 7 apresentaram diferenças nas horas de conforto e de desconforto por frio, principalmente, e por calor para o clima externo. O grupo climático 3 tem este comportamento evidenciado. Petrópolis (RJ) apresentou apenas 9,5 % das horas em que a temperatura externa se encontra dentro da faixa de conforto, enquanto São José dos Campos (SP) e Campo Mourão (PR) apresentaram comportamento mais similares (50,1% e 59,2%, respectivamente). A diferença mais acentuada está nas horas de desconforto por frio das cidades, em que Petrópolis (RJ) atinge 90,5% das horas em desconforto por frio, enquanto as outras cidades alcançam apenas 34% e 27%. Petrópolis (RJ) não apresenta desconforto por calor, já São José dos Campos (SP) - 15,8% - e Campo Mourão (PR) - 13,8% - apresentam.

Nos grupos climáticos 9 a 16, verificou-se variações mais equilibradas nas horas de conforto, de desconforto por frio e por calor externos. Adotando como exemplo o grupo climático 12, nota-se que as horas de conforto variaram entre 47,5% e 62,7%, as horas de desconforto por frio entre 8,6% e 31,5% e as horas de desconforto por calor de 14,2% a 38,0%, variações essas em torno de 20%, já sendo significativas para um mesmo grupo climático. No grupo climático 13, se destaca a cidade do Rio de Janeiro (RJ), que apresenta um número de horas de conforto (80,5%) bem superior as demais cidades do grupo, com horas de conforto na faixa de 51,4% a 73,4%. Ainda sobre o Rio de Janeiro (RJ) e o grupo 13, as horas de desconforto por calor dessa cidade foi de apenas 8,5%, valor este, 60% inferior as demais cidades do grupo.

Já os grupos 18 e 20 a 23, o que se observou foi uma maior variação das horas de conforto acompanhadas principalmente das horas de desconforto por calor. O grupo 23 destaca-se entre os grupos com este comportamento, uma vez que apresentou similaridade dentre as cidades com exceção de Picos (PI): horas de conforto entre 60,0% e 65,0%, desconforto por frio entre 1,4% e 7,2% e desconforto por calor entre 30,5% e 32,9%. Já a cidade de Picos (PI) apresentou apenas 32,7% de horas de conforto e 67,1% de horas de desconforto por calor, valor bem superior às demais.

Por meio da análise do clima externo identificou-se, portanto, comportamentos divergentes dentro dos grupos climáticos. Como o grupo climático busca agrupar os climas brasileiros por analogias, podendo servir futuramente como base para uma classificação bioclimática, foi também efetivada uma análise considerando uma edificação habitacional multifamiliar. Os resultados para o clima interno desta edificação são discutidos de forma complementar.

Para o clima interno, apenas o grupo climático 6 apresentou uma resposta de conforto homogênea para as cidades agrupadas. Os grupos climáticos 1a, 1b a 4 apresentaram maiores variações nas horas de conforto e de desconforto por frio entre as cidades. Destaca-se, também, o grupo 3 com uma grande diferença. Contudo, em relação ao clima interno, as cidades de Petrópolis (RJ) e Campo Mourão (PR) apresentaram valores de horas de conforto próximos (41,2% e 44,6%, respectivamente), enquanto São José dos Campos (SP) apresentou valores mais altos, cerca de 74%. No entanto, as maiores diferenças foram observadas para o desconforto por frio para Petrópolis (RJ) - 58,8% contraposto a 4,9% em São José dos Campos e 8,2% em Campos Mourão. Para o desconforto por calor em Campo Mourão (PR) - 47,2% contraposto a 0,0% em Petrópolis e 21,1% em São José dos Campos. Estas variações evidenciaram que cidades em um mesmo grupo climático obtiveram comportamentos de conforto térmico bem distintos.

O grupo 7 apresentou uma variação maior no desconforto por frio e por calor, fato que resultou em um número menor nas horas de conforto. Enquanto as cidades de Irati (PR) e Chapecó (SC) apresentaram baixos valores de desconforto por frio (6,7% e 12,9%), a cidade de Bom Jesus (SC) obteve valor de 12,9% e Caçador (SC) e Vacaria (RS) apresentaram valores superiores, em torno de 44,0%. O contrário foi observado no comportamento de desconforto por calor para estas cidades. Apesar dos valores de horas de conforto não terem sido muito destoantes, as condições de desconforto no ambiente interno variaram em frio (6,7 a 44,0%) e calor (1,0 a 24,3%) entre as cidades deste grupo.

Já os grupos climáticos 5, 8 a 16 apresentaram variações, principalmente nas horas de conforto e de desconforto por calor. No grupo 10, por exemplo, observou-se cidades com baixas horas de conforto interno - Campo Grande (MS) -, com condições intermediárias de conforto -Belo Horizonte (MG) e Brasília (DF)- e com condições superiores de conforto -Franca (SP), Garanhuns (PE) e Rio Verde (GO)-, com mais de 80% das horas em conforto. Com relação ao desconforto por calor, as cidades de Franca (SP) e Garanhuns (PE) apresentaram um baixo valor de horas de desconforto por calor (5,0 a 6,0 %), assim como Rio Verde (GO), embora superior as outras duas cidades, que ainda sim apresentaram um valor baixo (12,4%). Brasília já obteve 23,4% das horas em desconforto por calor, enquanto Belo Horizonte (MG) e Campo Grande (MS) já obtiveram valores, em média, duas vezes maior.

Por fim, os grupos 17 a 24 apresentaram flutuações grandes nas horas de conforto do ambiente interno e assim como de desconforto por calor. Cita-se como exemplo o grupo climático 23, em que estas variações foram de maior magnitude caracterizando dois tipos de comportamento de conforto térmico: Picos (PI) e Cipó (BA) com valores bem baixos de horas de conforto (2,3% e 8,9%) e valores altos de desconforto por calor (97,7% e 91,1%); Espinosa (MG) e Alta Floresta (MT) com valores intermediários de horas de conforto (59,3% e 50,0%) e de desconforto por calor (40,6% e 50,0%).

De forma geral, nota-se que as variações das condições de conforto externo foram refletidas internamente. Tal fato reforça que as condições de conforto e de desempenho térmico da edificação são função do clima externo, devendo o agrupamento climático de referência ser capaz de refletir tais aspectos. Contudo, o que se verificou para o caso da edificação analisada, é que em alguns grupos ocorrem melhorias significativas nas

horas de conforto internas em comparação com as condições externas, reduzindo tanto as horas em desconforto por frio como por calor de forma distinta entre as cidades. Tal comportamento atesta que, apesar das edificações estarem em um mesmo grupo climático, há necessidades distintas quanto às recomendações de projeto. Outra constatação feita é a de que determinados grupos climáticos não apresentam comportamento homogêneo entre as cidades amostradas. Tal comportamento poderia resultar em possíveis incongruências quanto as diretrizes construtivas recomendadas para propiciar conforto térmico para um grupo climático, uma vez que não foram todos os grupos que apresentaram correspondência entre os resultados obtidos para os grupos climáticos e as condições de conforto térmico em habitações ventiladas naturalmente para todas as cidades analisadas. Esta observação de ausência de homogeneidade em alguns grupos climáticos foi observada por Leite et al. (2020) e refletido nas características climáticas díspares das cidades de um mesmo grupo climático.

Considerações Finais

Por meio de simulação computacional de modelo de habitação naturalmente ventilada foi possível comparar as condições de conforto térmico em diferentes cidades brasileiras. A amostra de 102 cidades se mostrou expressiva para avaliar a diversidade climática nacional em relação ao comportamento térmico e energético das edificações, bem como as especificidades dentro de um mesmo grupo, considerando os 24 grupos climáticos propostos por Roriz (2014).

Por meio da quantificação das horas de conforto para o clima externo e para o clima interno da edificação, assim como de desconforto por frio e por calor, foi possível analisar os resultados obtidos em diferentes cidades em um mesmo grupo climático. A análise do clima externo indicou comportamentos não homogêneos dentro de alguns grupos climáticos. Esta disparidade ocorreu tanto quantitativamente quanto ao número de horas de conforto, como no rigor térmico por frio e calor, indicando haver possível diversidade climática dentro do grupo. Quanto ao perfil de conforto nos ambientes internos, resultados similares foram encontrados. Nos casos em que a melhoria se mostrou menos eficaz, estratégias construtivas complementares podem se fazer necessárias. Estas recomendações podem ser variadas dentro do mesmo grupo dado a heterogeneidade nos resultados obtidos em alguns casos. Estudos complementares poderão contribuir para preencher a lacuna acerca das diretrizes construtivas para cada grupo, bem como explicitar as potencialidades e imprecisões do agrupamento com 24 grupos proposto. Assim, gera-se um questionamento sobre a capacidade do agrupamento climático proposto em refletir a diversidade climática brasileira referente ao comportamento térmico e energético das edificações.

Sugere-se então, antes da sua adoção por normas e regulamentos, que a classificação climática proposta por Roriz (2014) seja amplamente estudada e avaliada por estudos mais aprofundados, contemplando mais cidades e outras tipologias edilícias e que considere uma faixa aceitável de diferença de conforto entre as cidades de um mesmo grupo. Além do exposto, avaliar a inclusão de outras variáveis climáticas pode tornar o agrupamento climático mais preciso. Desta forma, a proposta de agrupamento climático poderá obter uma validação prévia com base em estudos específicos antes de embasar normas e regulamentos referentes ao desempenho térmoenergético de edificações.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.220**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

AMORIM, A. C.; CARLO, J. C. Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, 2017. https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100140.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2017**. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE. Atlanta. 2017.

BASTOS, L. E. G.; KRAUSE, C. B.; BECK, L. Estratégicas da Ventilação Natural em Edificações de Interesse Social e a Norma ABNT 15220-3: zoneamento bioclimático x potencial eólico brasileiro. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino América de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007. **Anais [...]**. Ouro Preto: ANTAC, 2007.

BRASIL. Portaria 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012**. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf. Acesso em: 22 de agosto de 2020.

CAMELO, S.; SANTOS, C. P. D.; RAMALHO, Á.; HORTA, C.; GONÇALVES, H.; MALDONADO, E. **Manual de Apoio à Aplicação do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**. Lisboa, p. 220. 2005.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

CHILE. INN (INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION). **NCh 1078: Arquitectura y Construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitetónico**. Santiago. 2008.

CHILE. MINVU (MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO). **Manual de Procedimientos Calificación Energética de Viviendas en Chile**. Santiago. 2019.

COLOMBIA. MADS (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE). **Criterios Ambientales para el Diseño y Construcción de Vivienda Urbana**. Bogotá. 2012.

COSTA, S. R. G. D.; BARBIRATO, G. M.; GOULART, S. V. G. Desempenho Térmico e Habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora: 2012. **Anais [...].** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

DEDEAR, R.; BRAGER, G. S. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, n.6, p. 549-564, 2002. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - DOE. **High-Performance Home Technologies: Guide to Determining Climate Regions by County.** DOE. Washington. 2016.

EQUADOR. MIDUVI (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA). **NEC 11 - Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador**. Quito. 2011.

EQUADOR. MIDUVI (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA). **NEC -**

Norma Ecuatoriana de la Construcción: Eficiencoa energética en edificaciones residenciales (EE). Quito. 2018.

EVANS, J. M. **The Comfort Triangles: a new tool for bioclimatic design**. Thesis – (Doctor of Philosophy) - Technische Universiteit Delft. London, 2007.

EVANS, J. M. **Zonificacion Bioambiental en Latinoamerica para una Arquitectura Sustentable**. 2004.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. D. Estudo do Clima Brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Maceió: 2014. Anais [...]. Maceió: ANTAC, 2014.

GARCÍA, A. S. W. **Zoneamento bioclimático para edificações baseado no desempenho térmico.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2017.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n. 1, p. 11-23, 1992. https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K.

INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas**. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E, nov. 2020a. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/.

INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E, nov. 2020b. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/.

INVIDIATA, A.; MELO, A.P.; VERSAGE, R.; SOUZA, R.F.; LAMBERTS, R. Análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2016. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Arquivos Climáticos**. Florianópolis, 2020. Disponível em: http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos. Acesso em: 25 ago. 2020.

LEITE, E. F. W.; GARCIA, J.; HENNING, E.; HACKENBERTG, A.M. Análise Estatística de Dados Climáticos das Cidades de Joinville/SC e Niterói/RJ. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, V.9, n. esp., p. 207-223, 2020. http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020207-223.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. L. B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, 2012. https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200005.

MONTEIRO, C. A. D. F. Necessidade de um Caráter Genético à Classificação Climática (algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional). **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, v.31, n. 57, p 29-44, 1962. https://www.jstor.org/stable/40996656.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.26, n. 2, p. 59-89, 1979.

PEREIRA, I.; ASSIS, E. S. D. Discussão da Classificação Bioclimática de Belo Horizonte Proposta pelo Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações. VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió: 2005. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2005.

ROCHA, A. P. D. A.; ASSIS, E. S. D.; GONÇALVES, W. D. B. Zoneamento Bioclimático do Estado de Minas Gerais: aperfeiçoamento dos resultados. XI Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009. **Anais [...]**. Natal: ANTAC, 2009.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. 2012a. Disponível em: http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

RORIZ, M. Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil. **ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos, p. 13. 2012b. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

RORIZ, M. Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. **ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos, p. 22. 2012c. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil - versão 2. **ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos**. 2013a. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil - versão 2.1. **ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos. 2013b. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2-1.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil - versão 3.0. **ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos. 2014. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Roriz_2014.pdf. Acesso em: 25 ago. 2020.

WALSH, A.; LABAKI, L.; CÓSTOLA, D. Panorama do Zoneamento Bioclimático nas Américas. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió: 2014. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2014.

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: "O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1° de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação".

O **CADERNOS PROARQ (issn 2675-0392)** é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 21/05/2020

Aceito em 07/11/2020