

# APLICAÇÃO DE EXPERIMENTO FATORIAL COMO MÉTODO PARA A DEFINIÇÃO DE ZONAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DO CONFORTO TÉRMICO

*APPLICATION OF FACTORIAL EXPERIMENT AS A METHOD FOR THE DEFINITION OF BIOCLIMATIC ZONES FROM THERMAL COMFORT*

 Camila Carvalho Ferreira <sup>1</sup>

 Joyce Correna Carlo <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

[camilacferreira@yahoo.com.br](mailto:camilacferreira@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, [joycecarlo@ufv.br](mailto:joycecarlo@ufv.br)

## Resumo

O zoneamento bioclimático apresenta-se como importante ferramenta para fornecer subsídios para a estruturação de normativa de desempenho térmico e de códigos de eficiência energética de edificações. No entanto, uma metodologia consistente para o desenvolvimento de propostas de zoneamentos é ainda tema de ampla discussão. O objetivo deste artigo é avaliar a aplicabilidade do experimento fatorial como método para caracterização de zonas bioclimáticas. Para tal, empregou-se o experimento fatorial para a análise das variáveis de influência no desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente em diferentes climas brasileiros. Foram realizadas simulações de desempenho térmico a partir da fatorial e as cidades analisadas foram agrupadas de acordo com a performance quanto ao conforto térmico e com as variáveis de influência. De forma geral, as principais variáveis de influência no conforto térmico das edificações foram a absorvância solar da envoltória, a transmitância térmica das coberturas e a ventilação. Para climas mais amenos a transmitância térmica das paredes também apresentou influência, enquanto a capacidade térmica das paredes apresentou influência para os climas de transição. Dentre as localidades amostradas, pode-se reconhecer quatro padrões de comportamento quanto ao conforto térmico e quanto às variáveis de influência, possibilitando o agrupamento das cidades. Identificou-se quatro zonas bioclimáticas, subdivididas de acordo com as necessidades de ventilação específicas locais. A originalidade deste trabalho está na proposta de uma caracterização de zonas bioclimáticas fundamentada em um modelo de conforto adaptativo, na inclusão de mais de um modelo de edificações multifamiliares na análise e na utilização do experimento fatorial.

**Palavras-chave:** zoneamento bioclimático, desempenho térmico, conforto adaptativo, edificações residenciais.

## Abstract

*Bioclimatic zoning is an important tool to provide subsidies for structuring thermal performance regulations and energy efficiency codes of buildings. However, a consistent methodology for developing zoning proposals still needs to be discussed. This article aims to evaluate the applicability of the factorial design as a method for the characterization of bioclimatic zones. For this, the factorial experiment was used to analyze the variables of influence on the thermal performance of residential buildings naturally ventilated in different Brazilian climates. Thermal performance simulations were performed from the factorial, and the cities analyzed were grouped according to the performance regarding thermal comfort and influence variables. In general, the main variables of influence the thermal comfort of the buildings are the solar absorbance of the wrap, the thermal transmittance of the roofs and the ventilation. For milder climates, the thermal transmittance of the walls also had an influence, while the thermal capacity of the walls influenced the transition climates. Among the sampled localities, it is possible to recognize four patterns of behavior regarding thermal comfort and the variables of influence, enabling the grouping of cities. Four bioclimatic zones were identified and subdivided according to local ventilation needs. The originality of this work is in the proposal of characterization of bioclimatic zones based on an adaptive comfort model. More than one model of multifamily buildings was considered in a factorial analysis.*

**Keywords:** bioclimatic zoning, thermal performance, adaptive comfort, residential buildings.

### Contribuição dos autores:

CCF: conceituação, curadoria dos dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projeto, programas, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. JCC: conceituação, análise formal, metodologia, supervisão, escrita - revisão e edição.

**Fomento:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

**Declaração de conflito:** nada foi declarado.

Editor Responsável:

Michele Marta Rossi 

How to cite this article:

FERREIRA, C. C.; CARLO, J. C.. Aplicação de experimento fatorial como método para a definição de zonas bioclimáticas a partir do conforto térmico. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023005, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8669076>

Submitted 22.04.2022 – Approved 01.12.2022 – Published 27.01.2023

e023005-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023005, 2023, ISSN 1980-6809



## Introdução

A Bioclimatologia aplica a Climatologia na relação do homem com seu entorno, associando as variáveis climáticas com as condições requeridas para conforto térmico dos usuários. A partir desta associação zonas bioclimáticas podem ser demarcadas, de modo que as variáveis climáticas apresentam variação limitada e os mesmos recursos passivos de projeto podem ser aplicados (EVANS, 2007; MAZZAFERRO *et al.*, 2020).

Neste contexto, o zoneamento bioclimático apresenta-se como importante ferramenta, fornecendo subsídios para a estruturação de normativa de desempenho térmico e de códigos de eficiência energética de edificações. Sua relevância é ainda maior em países que apresentam uma crescente demanda habitacional e enorme diversidade climática, como o Brasil (WBCSD, 2007; UNITED NATIONS, 2015).

Dentre as propostas de zoneamentos bioclimáticos adotados atualmente no mundo, pode-se observar uma grande variabilidade em relação aos métodos, às variáveis e aos parâmetros adotados. Há uma tendência a se considerar poucos aspectos para o desenvolvimento do zoneamento, resultando em uma simplificação excessiva, que pode comprometer o conforto do usuário e a eficácia de políticas de eficiência energética para edificações (GARCÍA, 2017).

Dentre as metodologias aplicadas na proposição de zoneamentos bioclimáticos, a metodologia baseada em graus dias de resfriamento e de aquecimento é uma das mais utilizadas pela simplicidade do seu cálculo. Esta metodologia é baseada no conceito de que as necessidades de resfriamento e de aquecimento das edificações estão linearmente relacionadas com as diferenças entre a temperatura adotada como base e as temperaturas externas. Tal relação apresenta boa correlação para edificações condicionadas artificialmente e nem tanto para as condicionadas naturalmente, que se encontram em regime transiente de trocas de calor e altamente dependentes das variações climáticas externas (GARCIA, 2017). Como exemplo de aplicação desta metodologia pode-se citar a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2017) e o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos, que classificaram o país em zonas climáticas 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, 2015).

Outro método de zoneamento utilizado é o de agrupamento de dados. O diferencial deste método está no fato de permitir a análise de um grande número de variáveis que influenciam o desempenho termoenergético de edificações, evitando simplificações nas definições de zoneamentos bioclimáticos (GARCIA, 2017). Wan *et al.* (2010) realizaram uma análise de agrupamento de dados de desconforto por calor e por frio para a China. Erell, Portnov e Etzion (2003) propuseram um zoneamento climático para Israel a partir do agrupamento de dados climáticos, comumente disponíveis nas estações meteorológicas do país. Como limitação desta metodologia, os autores expuseram que a qualidade da análise depende da seleção das variáveis analisadas e sua contribuição para o tema em avaliação. A decisão arbitrária na seleção das variáveis pode prejudicar o processo (ERELL; PORTNOV; ETZION, 2003). Uma forma de superar esta limitação é aplicar o experimento fatorial para verificação da significância das variáveis para o zoneamento climático e, posteriormente, a análise de agrupamento de dados (AHMED, 1997). Ahmed (1997) aplicou a combinação destas técnicas para a Arábia Saudita, país com grande variabilidade climática, e concluiu que esta técnica de análise é vantajosa, resulta em um zoneamento mais rico e sensível às variações climáticas dentro do país. Walsh, Cóstola e Labaki (2017a) aplicaram três metodologias para zoneamento (agrupamento, graus dias e divisões administrativas) na Nicarágua e concluíram que o

agrupamento foi a metodologia que forneceu a melhor compreensão climática do território.

Uma outra possibilidade é a elaboração de zoneamentos a partir da combinação de metodologias. Xiong *et al.* (2019) apontaram que as metodologias de graus dia e de agrupamento aplicadas em conjunto produzem bons resultados

Zuhairy e Sayigh (1993) abordam a acurácia da análise climática para o desenvolvimento de recomendações de projeto bioclimático e questionam o uso unicamente de dados climáticos médios na geração de recomendações. 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 pode resultar na moderação de efeitos significativos, que passam a ser minimizados e a não receber respostas arquitetônicas convenientes. Mazzaferro *et al.* (2020) realizaram uma análise exploratória de dados climáticos de 411 cidades brasileiras e citam que os dados climáticos médios, embora sirvam como uma descrição simplificada dos climas, podem não ser muito significativos, caso a variável climática não possua distribuição normal. Acrescenta-se ainda o exposto por García (2017), que zoneamentos baseados em dados meteorológicos exclusivamente tendem a definições arbitrárias do número de zonas e do limite entre zonas, sem assegurar que os requisitos térmicos para conforto do usuário sejam homogêneos dentro das zonas ou significativamente diferentes entre zonas. Ressalta-se, ainda, a representatividade superior dos dados horários em relação aos mensais para estudos de conforto térmico e desempenho termoenergético de edificações, por indicarem a variabilidade ao longo de um dia (SAID; HABIB; IQBAL, 2003; WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2017b).

No estudo de Mazzaferro *et al.* (2020), já citado, o intuito foi verificar a relevância dos dados de desempenho da edificação na proposição de um zoneamento climático. Os autores concluíram sobre a importância destes dados na qualidade do zoneamento climático. Também observaram que zoneamentos estabelecidos apenas por diretrizes bioclimáticas, como o da NBR 15.220 (ABNT, 2005) não funcionam bem (MAZZAFERRO *et al.*, 2020). García (2017), após revisar as metodologias de zoneamento bioclimático e aplicá-las na Nicarágua, defende que as metodologias fundamentadas na combinação de simulação termoenergética com o agrupamento de dados são as que aparentam grande potencial para definição de zoneamento bioclimático. O uso do desempenho de edificações oriundas de simulação computacional pode auxiliar na definição de um número ótimo de zonas bioclimáticas, assim como na avaliação da qualidade e robustez de um zoneamento (GARCÍA, 2017; MAZZAFERRO *et al.*, 2020).

García (2017) aponta que em países de clima tropical dominante, em que as edificações tendem a ser condicionadas naturalmente em sua maioria, as limitações dos métodos de zoneamento existentes ganham especial relevância. Para este clima é sugerido que o zoneamento bioclimático se desenvolva com base no conforto térmico, diversamente da eficiência energética das edificações, alterando assim a abordagem de zoneamento bioclimático comumente empregada (GARCIA, 2017). O foco deve ser o estabelecimento de estratégias de projeto para que as edificações promovam o conforto térmico do usuário na maior parte de tempo possível.

Nas últimas décadas, os princípios de conforto térmico sofreram revisões, havendo implicação direta sobre o controle das condições ambientais internas com a valorização das possibilidades de adaptação dos usuários, ao invés de condições restritas e fixas de variáveis climáticas (GONÇALVES; BODE, 2015). Pesquisas em todo o mundo têm

apontado que a temperatura interna dos ambientes variando ao longo do ano não só é plausível como desejável em qualquer edificação, principalmente nas condicionadas naturalmente (HUMPHREYS, 1976; ARAÚJO, 1996; DE DEAR; BRAGER, 2002; XAVIER, 1999; GONÇALVES, 2000; NICOL, 2004; NICOL; HUMPHREYS; ROAF, 2012). Assim, é cada vez mais usual a aplicação de modelos adaptativos de conforto. Estudos realizados apontam que edifícios que adotam o conforto adaptativo, demonstram níveis mais altos de conforto e satisfação dos usuários (DE DEAR *et al.*, 2020).

Em síntese, é possível considerar que zoneamentos bioclimáticos embasados apenas em dados climáticos tendem a ser mais simplicistas e nem sempre suficientes para países com maior complexidade climática. A indicação é de que os zoneamentos utilizem os dados climáticos associados a outros métodos e abordagens que tenham em consideração as condições de conforto térmico em climas quentes. Estudos mais recentes e as novas abordagens acerca do tema referenciam o desempenho de edificações como um método conveniente para o desenvolvimento de zoneamentos. Idealmente, os dados climáticos a serem utilizados devem ser no formato horário para um ano e associados ao conforto térmico dos usuários.

O objetivo deste artigo é a proposição de caracterização de zonas bioclimáticas, fundamentada em análises de conforto térmico adaptativo de edificações residenciais brasileiras, que possa servir de balizamento para o desenvolvimento de um futuro zoneamento bioclimático.

O diferencial do presente trabalho reside na aplicação de desempenho de edificações de cinco modelos de referência de edificações residenciais para a caracterização das zonas bioclimáticas utilizando como base o experimento fatorial. Usualmente, quando utilizam o desempenho de edificações, os estudos já realizados se baseiam em uma única edificação (EVANS, 2007; INVIDIATA *et al.*, 2016; GARCÍA, 2017; XIONG *et al.*, 2019), impedindo a verificação da influência da geometria, principalmente no caso residencial que compreende unidades uni e multifamiliares. As zonas bioclimáticas serão caracterizadas a partir da identificação das variáveis de influência nas condições de conforto térmico para cada modelo de referência e sob a influência de determinado clima, conforme metodologia desenvolvida por Ferreira, Souza e Carlo (2021). Os autores apresentam resultados tanto para as variáveis de maior influência, como as melhores condições de conforto térmico para 110 localidades ao longo do território brasileiro, contemplando os diversos climas do país.

## **Zoneamentos climáticos e bioclimáticos desenvolvidos no mundo**

### *América Latina e Portugal*

Como o presente estudo aborda edificações residenciais condicionadas naturalmente, serão detalhados os zoneamentos climáticos/bioclimáticos com este enfoque, principalmente em países de clima quente e da América Latina. Os zoneamentos analisados contemplaram os seguintes países: Argentina, Uruguai, Chile, Colômbia, Peru, Equador, México e Portugal. A seguir são apresentados no Quadro 1 um resumo das principais características dos zoneamentos analisados.

**Quadro 1- Resumo das características dos zoneamentos analisados**

PAÍS	TIPO		METODOLOGIA				RESUMO	NÚMERO DE ZONAS	REFERÊNCIA
	Climático	Bioclimático	Agrupamento	Graus dia	Desempenho por conforto	Análise climática			
Argentina		X		X	X	X	Fundamenta-se em três indicadores para a definição das zonas: no graus-dia de aquecimento; na temperatura efetiva de um dia típico de verão correlacionado ao Voto Médio Predito (PMV) e ao índice de Belding e Hatch (IBH); e na amplitude térmica diária média	6 zonas, sendo as zonas 1 a 4 subdivididas em 12 subzonas, totalizando 14 diferenciações	IRAM 11.603 (2011)
Uruguai		X		X	X	X	Aplica o zoneamento definido pela norma argentina IRAM 11.603 (2011)	2 zonas	IRAM 11.603 (2011)
Chile	X					X	Zonas determinadas a partir da temperatura, da amplitude diária, da insolação, da umidade relativa, da nebulosidade e da pluviosidade	9 zonas	NCh 1078 (INN, 2008)
	X			X			Zonas determinadas a partir de graus-dia de aquecimento. Não substitui o zoneamento anterior, combinam-se os dois	7 zonas	CHILE, 2018
Colômbia	X					X	baseou-se na definição de critérios ambientais a partir das variáveis temperatura do ar, umidade relativa, altitude, a radiação solar, precipitação e os ventos	5 zonas	COLOMBIA, 2012
Peru	X					X	se baseia na classificação climática de Köppen combinada com parâmetros de altitude, radiação solar e a inversão térmica, da arquitetura vernacular, entre outros fatores que permitissem uma aproximação dos padrões arquitetônicos	9 zonas	PERU, 2008
Equador	X			X		X	Define as zonas a partir do mapa de isotermas, que dividiu o país em 12 zonas térmicas de acordo com a temperatura média anual registrada. A partir das zonas térmicas, as zonas climáticas foram estabelecidas de acordo com os graus-dia de aquecimento e de resfriamento e com a altitude local	12 zonas	NEC-11 (EQUADOR, 2011; EQUADOR, 2018)
México	X			X		X	Adota a classificação climática estabelecida pela ASHRAE Standard 169, baseada no número de graus dia para aquecimento e da condição de umidade do ar	5 zonas	ASHRAE, 2013.
Portugal	X			X		X	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	3 zonas de verão e 3 zonas de inverno	CAMELO <i>et al.</i> , 2005

Fonte: as autoras.

A síntese a partir do Quadro 1 permite observar que os zoneamentos possuem predominantemente uma abordagem climática ao invés da bioclimática, sem relacionar os dados climáticos com um modelo de conforto. Exceção é o zoneamento argentino, que utiliza o Voto Médio Predito (PMV) e o índice de Belding e Hatch (IBH) para uma abordagem bioclimática. Quanto à metodologia utilizada, predomina a análise climática pura, que não se mostra a mais adequada conforme estudos citados (SAID; HABIB; IQBAL, 2003; WALSH; LABAKI; CÓSTOLA, 2014; WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2017a; MAZZAFERRO *et al.*, 2020), e a análise climática conjugada ao grau dia. A abordagem da análise climática associada aos graus dias é capaz de fornecer boas respostas em climas frios e nem tanto para climas quentes. No que se refere às variáveis utilizadas, não há um padrão entre as variáveis consideradas, alterando conforme entre as propostas. Já o número de zonas é dependente do método adotado para a classificação. Observações similares foram feitas por Walsh, Cóstola e Labaki e (2017b). Em uma revisão sobre a temática do zoneamento, os autores identificaram que a definição do número das zonas climáticas é consequência da busca por um zoneamento climático simplificado. Não há a consideração da natureza e da magnitude das variações climáticas para tal. Outro ponto relevante apontado pelos autores, refere-se ao fato de que 19 variáveis, técnicas e parâmetros foram apresentados entre os zoneamentos climáticos avaliados. Os mais frequentes foram a temperatura do ar, graus dias, altitude, divisões administrativas e umidade relativa. No entanto, a combinação das variáveis, técnicas e parâmetros mostrou-se reduzida, uma vez que a maioria dos países utilizaram até três variáveis, técnicas e parâmetros na definição de seu zoneamento bioclimático, priorizando a simplicidade metodológica (WALSH; CÓSTOLA; LABAKI, 2017b).

#### *Zoneamento bioclimático brasileiro*

O Brasil possui um zoneamento bioclimático com enfoque em edificações unifamiliares de interesse social e que vem sendo aplicado amplamente, por ser o único disponível. O atual zoneamento é apresentado na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Como modelo de conforto térmico adotou-se o Diagrama Bioclimático de Givoni (1992). Para a definição das recomendações bioclimáticas, além do Diagrama de Givoni, foram adotadas as Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1970), obtendo-se oito zonas bioclimáticas.

A classificação das cidades foi realizada utilizando dados mensais das Normas Climatológicas para 330 cidades. As demais localidades, que representam maioria significativa, tiveram sua inserção em zonas definidas pelo método de interpolação. A quantidade pouco expressiva de dados climáticos, considerando a extensão do território nacional, é uma das fontes de imprecisão na caracterização climática das cidades brasileiras, podendo resultar na não homogeneidade climática dentro de uma zona (AMORIM, 2015).

A adoção do Diagrama de Givoni como modelo de conforto para a definição das zonas bioclimáticas é um diferencial do zoneamento proposto pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). O zoneamento proposto fundamenta-se em conforto para condições de uso residencial e não apenas em dados climáticos ou em desempenho térmico de edificações. Este enfoque aproxima as recomendações de projeto daquelas almejadas pelo usuário. Apesar disto, deve-se ressaltar que uma das limitações desta metodologia está justamente no fato de adotar uma zona de conforto única para todo o Brasil, apesar do país apresentar uma grande diversidade climática e diferentes populações adaptadas ao clima local, conforme indicam os estudos de conforto térmico mais recentes. Estudos sobre a sensação térmica de usuários em climas brasileiros (ARAÚJO, 1996; ARAÚJO; ARAÚJO, 1997; GONÇALVES, 2000; SILVEIRA, KALLAS; RIBEIRO, 2003; SCHMID, 2015) apontam que, apesar de estarem fora da faixa de conforto definida por Givoni (18 a

28°C), os usuários encontravam-se termicamente confortáveis. Outros estudos apontam a aplicabilidade do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 para climas brasileiros (PEREIRA; ASSIS, 2010; NEGREIROS; PEDRINI, 2013; FERREIRA; SOUZA, 2013).

Ressalta-se na metodologia adotada que as temperaturas médias e a amplitude térmica mensais em diferentes estações do ano apresentam-se como as variáveis fundamentais para determinar as zonas bioclimáticas do Brasil (EVANS, 2007). Um aprimoramento da metodologia adotada para o zoneamento brasileiro seria a adoção de dados climáticos mais representativos, como os dados horários em substituição aos dados médios mensais.

Algumas considerações acerca deste zoneamento foram pontuadas em estudos conduzidos por diferentes autores. Pereira e Assis (2005) questionam a classificação bioclimática da cidade de Belo Horizonte na mesma zona de Florianópolis. As autoras avaliaram haver maior proximidade do clima de Belo Horizonte com o de Brasília, ambas cidades de clima continental no domínio semiárido. Martins, Bittencourt e Krause (2012) observaram divergências de classificação no semiárido nordestino. Os autores constataram que as cidades do semiárido alagoano se assemelham mais às características climáticas da zona bioclimática 7 e não às características da zona 8, zona em que estão originalmente inseridas. A pesquisa desenvolvida por Costa, Barbirato e Goulart (2012) avaliou o desempenho térmico de edificações residenciais para diferentes cidades na zona bioclimática 8. As cidades escolhidas foram Belém (PA), Fortaleza (CE), Maceió (AL), Salvador (BA) e Rio de Janeiro (RJ). As autoras concluíram que, embora estejam em uma mesma zona bioclimática, há diferenças nas necessidades das estratégias de projeto a serem adotadas em cada uma das cidades em questão para se promover o conforto térmico do ambiente interno.

Diante das limitações apresentadas pela proposta inicial de zoneamento bioclimático, foram desenvolvidas por Roriz (2013a; 2013b) duas propostas de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil.

A primeira delas, baseou-se em dados climáticos e adotou quatro parâmetros para classificação climática (RORIZ, 2013a): média anual da temperatura do ar ( $T_{medAno}$ ); diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal ( $dT$ ); média anual da amplitude térmica ( $A_{medAno}$ ); e diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal ( $dA$ ). A faixa de cada um desses parâmetros foi dividida em intervalos definidos a partir das análises de dados climáticos. Estes intervalos mostraram-se sensíveis aos seus limites, em que pequenas alterações destes resultavam em importantes diferenças na abrangência e na distribuição geográfica das zonas (AMORIM, 2015).

Uma segunda proposta de revisão do zoneamento foi realizada também por Roriz (2014). Para a classificação climática, foram adotados dois parâmetros de indicadores de rigor climático: graus-horas de calor (GhC) e graus-horas de frio (GhF), calculados, respectivamente, a partir das médias das temperaturas máximas e mínimas do mês. Como temperatura base para a definição destes parâmetros, assumiu-se a faixa de conforto sugerida por Givoni (1992) para países em desenvolvimento. Resultaram 16 zonas bioclimáticas conforme as demandas por refrigeração e aquecimento.

Não existem ainda análises referente ao desempenho térmico de edificações para esta proposta de zoneamento. Análises do comportamento térmico das edificações a partir de simulações seriam complementares e de relevância. Contudo, as questões previamente colocadas quanto aos dados climáticos médios e a zona de conforto fixa adotados pelo zoneamento bioclimático em vigor são mantidas para esta nova proposta. Acrescenta-se a isto, a restrição quanto à aplicação de graus dia para edificações condicionadas naturalmente. O método de graus dia considera apenas a

influência da temperatura exterior, desconsiderando a influência da ventilação, da radiação solar e da umidade, relevantes nas trocas de calor em regime.

### **Método**

Para a caracterização das zonas bioclimáticas tomou-se como base os resultados obtidos por Ferreira, Souza e Carlo (2021), que indicam as melhores condições de conforto térmico e as variáveis de influência no desempenho térmico para 110 localidades ao longo do território brasileiro. As localidades foram agrupadas por similaridade de comportamento e recomendações. Em seguida, as necessidades das propriedades termofísicas das envoltórias e de ventilação natural foram definidas. Por fim, correlacionou-se desempenho térmico com as variáveis climáticas para validação da caracterização das zonas bioclimáticas a partir do clima.

### *Amostragem das localidades e caracterização climática do Brasil*

No presente trabalho foram adotadas as 110 localidades amostradas por Ferreira, Souza e Carlo (2021), de forma a representar a variabilidade climática considerando a variabilidade da latitude no território brasileiro (5°16' N a 33°45' S) e das zonas bioclimáticas conforme a NBR 15.220-3 (2005). Para que a amostra fosse significativa para população de 5.520 cidades brasileiras e um erro de 10%, a amostra mínima deve ser de 98 localidades, mesmo padrão de amostragem adotado por Carlo (2008). As cidades foram amostradas de forma estratificada de acordo com a distribuição das zonas bioclimáticas. Conforme o número total de localidades para cada zona, estas foram distribuídas por frequência de ocorrência e selecionadas por amostragem aleatória pela latitude ao longo do território brasileiro (FERREIRA; SOUZA; CARLO, 2021). As cidades selecionadas são apresentadas na Figura 1.

**Figura 1 - Cidades selecionadas por amostragem para análise**



Fonte: as autoras



### *Definição dos modelos representativos de edificações residenciais brasileiras*

Autores como Sorgato (2009), Teixeira *et al.* (2015) e Telles (2016) dedicaram-se a caracterização do setor residencial brasileiro com o objetivo de determinar modelos a serem adotados como referência do parque imobiliário residencial brasileiro. Foram identificados oito modelos representativos: cinco multifamiliares e três unifamiliares. Dentre os oito modelos identificados, cinco foram selecionados para o estudo, conforme proposto por Ferreira, Souza e Carlo (2021): dois modelos unifamiliares com diferenciações nas áreas construídas e três modelos multifamiliares (com 1 dormitório, 2 dormitórios e 3 dormitórios), conforme Quadro 2. A seleção dos modelos foi feita de modo a contemplar tanto residências multi como unifamiliares, segundo as diferenciações de tipologias existentes entre as regiões socioeconômicas do país.

### *Agrupamento das cidades por similaridade*

Os resultados apresentados por Ferreira, Souza e Carlo (2021) foram analisados para os modelos considerados e as cidades agrupadas conforme as condições que garantem o maior número de horas de conforto térmico. Cidades com mesmas variáveis de influência em comportamento (positiva indicando melhoria das condições de conforto e negativa indicando piora nas condições de conforto), conforme o experimento fatorial desenvolvido, foram reunidas em um mesmo grupo.

### *Determinação das recomendações termofísicas das envoltórias e da ventilação natural*

O experimento fatorial aplicado resultou no estabelecimento das variáveis de maior influência no desempenho térmico. A partir destas variáveis, foram estabelecidas qualitativamente as recomendações a serem adotadas entre: necessidade de paredes isoladas, pesadas, escuras; necessidade de coberturas isoladas, pesadas, escuras; necessidade de aberturas protegidas e por ventilação natural (higiênica, controlada e permanente) para cada um dos grupos gerados.

O experimento fatorial considerado foi o de dois níveis e abrangeu as seguintes variáveis: transmitância térmica das paredes externas e coberturas, a capacidade térmica das paredes externas e coberturas, a absorvância solar das paredes externas e coberturas, o fator solar dos elementos translúcidos e a ventilação natural. Às variáveis foram atribuídos um nível dito baixo (-) e outro alto (+). Os níveis adotados para cada variável são apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2, conforme Ferreira, Souza e Carlo (2021).

### *Caracterização climática dos grupos propostos*

Para cada um dos grupos de cidades foi realizada uma análise estatística das variáveis climáticas: temperatura média do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), temperatura máxima do ar (°C), amplitude térmica diária (°C), amplitude térmica anual (°C), umidade relativa média (%), umidade relativa mínima (%) e umidade relativa máxima (%). A análise estatística procedeu-se a partir de análises dos parâmetros distribuídos em *boxplots*, em que são representados os valores percentis da mediana, primeiro e terceiro quartis, além dos limites inferior e superior dos dados. Este tipo de gráfico permite a identificação do valor central e de valores discrepantes (REIS; REIS, 2002). Desta forma, foram identificadas as faixas contempladas para as variáveis climáticas em cada uma das zonas caracterizadas, assim como os valores centrais destas.

**Quadro 2 - Modelos de edificações residenciais analisados**

Modelos	Planta e volumetria	
<p>1 (53,3 m<sup>2</sup>)</p>		
<p>2 (66,8 m<sup>2</sup>)</p>		
<p>3 (33,2 m<sup>2</sup>)</p>		
<p>4 (30,7 m<sup>2</sup>)</p>		
<p>5 (55,5 m<sup>2</sup>)</p>		

Fonte: adaptado de Sorgato (2009), Teixeira *et al.* (2015) e Telles (2016).

**Tabela 1 - Níveis para o experimento fatorial para as paredes**

FATOR	FATOR A	FATOR B	FATOR C	FATOR D	FATOR E
Nível	Transmitância da parede ( $U_{PAR}$ ) [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Capacidade térmica da parede ( $CT_{PAR}$ ) [J/(m <sup>2</sup> .K)]	Absortância da parede ( $\alpha_{PAR}$ )	Fator Solar das aberturas ( $FS_{ABER}$ ) [%]	Ventilação ( $F_{vent}$ )
Baixo (-)	3,70	49,9	0,1	0,9	0
Alto (+)	1,00	250,1	0,9	0,2	1

Fonte: Ferreira, Souza e Carlo (2021).

**Tabela 2 - Níveis para o experimento fatorial para a cobertura**

FATOR	FATOR A	FATOR B	FATOR C
Nível	Transmitância da cobertura [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Capacidade térmica da cobertura ( $CT_{COB}$ ) [J/(m <sup>2</sup> .K)]	Absortância da cobertura ( $\alpha_{COB}$ )
Baixo (-)	4,00	20,0	0,1
Alto (+)	1,00	200,0	0,9

Fonte: Ferreira, Souza e Carlo (2021).

Foram então correlacionadas as faixas contempladas pelas variáveis climáticas com as recomendações termofísicas das envoltórias e para a ventilação natural, para avaliar a existência de um possível padrão das variáveis climáticas que possam definir as recomendações.

## **Análise dos resultados**

### *Agrupamento das cidades em zonas bioclimáticas*

A partir do experimento fatorial e da aplicação da ANOVA, foram extraídas as variáveis de maior influência no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliar e multifamiliar para as 110 localidades, sendo definido ainda se esta influência apresentou um impacto positivo ou negativo no desempenho térmico. Os resultados na íntegra estão apresentados no Apêndice A (Quadro A).

Os resultados obtidos apontaram a possibilidade de agrupamento entre as cidades a partir da similaridade de comportamento das variáveis de maior influência. Referente ao resultado obtido para as coberturas, um resultado bem homogêneo para todas as localidades foi alcançado, indicando que os mesmos fatores possuem influência qualitativa para todas as cidades, o que não necessariamente indica os mesmos valores de transmitância e capacidade térmica para as coberturas. Estes valores podem variar entre as zonas, mas para tal especificação seriam necessários estudos quantitativos mais aprofundados e não contemplados no presente estudo.

Dentre as variáveis analisadas referente às paredes externas e aberturas, a absortância e a ventilação, segundo a análise estatística pela ANOVA, apresentaram influência em quase todos os testes, denotando serem variáveis de relevância para as condições de conforto no clima quente. Já o fator solar da abertura apresentou influência em poucas localidades. Acredita-se que este comportamento seja decorrente da área das habitações serem pequenas, assim como a área de aberturas, havendo um ganho térmico pouco significativo por radiação para os tamanhos de aberturas avaliados. Para aberturas maiores este resultado poderá variar. Outras variáveis apresentam maior influência no comportamento térmico das edificações residenciais do que o fator solar, como a capacidade térmica das paredes. Esta variável obteve maior ocorrência como fator de influência do que a transmitância térmica entre as análises para todos os modelos, sendo identificada como fator de influência em 68 testes, enquanto a transmitância térmica apenas em 37 testes dentre todos os modelos de referência. Para os climas de transição considerados, foi a capacidade térmica das paredes que

apresentou maior influência no conforto térmico dos edifícios residenciais e não a transmitância térmica. Isto significa que, para estes climas, é a definição adequada da capacidade térmica das paredes externas que terá maior impacto no conforto térmico da edificação, tendo a transmitância térmica menor influência. Este fato pode ser justificado pela maior amplitude térmica diária, assim como verões quentes e invernos frios nestes climas. Os climas que foram exceção a este comportamento, foram os climas mais amenos e com invernos mais frios, comumente na região Sul do Brasil (cidades com climas de transição e inverno seco e com clima quente e seco). Para estes climas, a transmitância térmica das paredes foi uma variável de influência, indicando que sua correta definição resulta em condições melhores de conforto térmico para os usuários.

A partir das variáveis de influência estatisticamente significante foi possível identificar quatro padrões de comportamento térmico entre as cidades analisadas, em que as mesmas variáveis apresentaram influência no conforto térmico das edificações e, conseqüentemente, as mesmas recomendações para as envoltórias e para a ventilação. Estes quatro grupos principais com comportamento similar por recomendações foram: paredes isolantes e claras, paredes isolantes e escuras, paredes pesadas e paredes não isolantes e leves. As cidades foram distribuídas entre estes grupos.

Os diferentes modelos das habitações analisados apresentaram para uma mesma localidade um padrão de comportamento muito similar para o multifamiliar e unifamiliar em relação às quais variáveis possuíam influência, sejam estas positivas ou negativas, normalmente coincidindo as variáveis. Apesar deste padrão de comportamento identificado entre as habitações, algumas alterações específicas foram observadas entre os modelos multifamiliar e unifamiliar. Em climas com invernos mais frios, segundo os resultados da ANOVA, a transmitância térmica e absorvância foram as variáveis de influência estatisticamente significativas no conforto térmico para as edificações multifamiliares. Já nos casos das edificações unifamiliares, a capacidade térmica e a absorvância foram as variáveis de influência. Tal comportamento pode ser indicativo da interferência da geometria nas variáveis de influência, indicando a necessidade de aprofundamento desta investigação, uma vez que os resultados obtidos no presente trabalho por si só não são capazes de justificar este comportamento. Para estes mesmos climas, a influência da absorvância variou em positiva ou negativa para o conforto térmico conforme o modelo. Para multifamiliar a absorvância solar apresentou efeito negativo, enquanto que para o unifamiliar apresentou efeito positivo. Estas variações sugerem haver influência de características geométricas nos resultados, havendo necessidades específicas para o unifamiliar por apresentarem menor área e maior influência dos ganhos de calor pela cobertura. Para as localidades com duas estações definidas (sendo uma seca) e com clima quente e seco a capacidade térmica e a absorvância foram as variáveis de influência, podendo haver a adição da transmitância térmica como variável de influência em alguns modelos. Outra variação observada foi a variação da ventilação e do fator solar como variável de influência (ou não) entre os modelos para cidades de clima quente e úmido. Enquanto a absorvância solar alta para as superfícies apresentou uma influência negativa para todos os modelos e localidades no clima quente úmido, os resultados mostraram que a ventilação tinha maior influência para as edificações multifamiliares do que para as unifamiliares. Além disso, a influência do fator solar foi significativa apenas para modelos multifamiliares neste clima.

Diante do discutido e apresentado nos quadros do Apêndice A as cidades foram agrupadas conforme a similaridade por comportamento quanto às variáveis de influência, tanto positiva quanto negativa, e pela condição representada pelo maior número de horas de conforto. Foram identificadas quatro zonas principais: a zona 1

caracterizada pela recomendação de isolamento e paredes escuras; a zona 2 caracterizada por paredes isolantes e claras; a zona 3 por paredes pesadas e claras; e a zona 4 por paredes sem isolamento, leves e claras. As zonas bioclimáticas identificadas e suas respectivas variáveis de maior influência, seja positiva ou negativa (conforme o Quadro 3), foram:

- Zona 1 - composta por localidades de climas frios, abrangendo a região Sul do país principalmente e algumas localidades com altitudes mais elevadas. Para esta zona as superfícies além de isolantes, devem ser escuras e a ventilação apenas higiênica.
- Zona 2 – refere-se às localidades com predominância de invernos frios, compreendendo a região Sul do país. Para esta zona é recomendado o isolamento da envoltória e a ventilação apenas nos períodos quentes:
- Zona 3 – engloba as cidades com climas de transição com uma estação quente e outra fria, em que é observada uma tendência de dias quentes e noites frescas ou frias. Para estas cidades as paredes devem ter capacidade térmica mais elevadas, serem claras e permitir a ventilação nos períodos quentes:
- Zona 4 – caracteriza-se por localidades com temperaturas elevadas ao longo de todo o ano e umidade relativa mais alta. As localidades desta zona concentram-se na região Norte do país e no litoral nordestino. As principais recomendações para esta zona referem-se às superfícies claras, à redução dos ganhos térmicos por radiação e à ventilação:

Para estas zonas, foram criados grupos dentro das zonas bioclimáticas para atender às necessidades distintas entre edificações unifamiliares e multifamiliares, assim como diferentes necessidades de ventilação dentro de uma mesma zona (permanente, controlável e higiênica). A necessidade de sombreamento e de ventilação foram determinadas pelas horas de conforto. As cidades dentro de cada uma das 4 zonas foram então divididas em grupos dentro destas zonas, resultando em 20 agrupamentos possíveis. As diferenciações dos grupos dentro de cada uma das zonas são apresentadas nos Quadros 3 a 5. Os fatores com influência positiva foram marcados com “+”, com influência negativa com “-” e aqueles que não apresentaram influência estatisticamente significativa foram deixados sem marcação.

**Quadro 3 - Resumo das variáveis de influência por zona bioclimática e grupos para as edificações multifamiliares (modelos M01, M02 e M03)**

ZB	GRUPOS	PAREDES			ABERTURAS			COBERTURA			
		UPAR	CTPAR	αPAR	FS	Vent			UCOB	CTCOB	αCOB
		Isolamento	Pesada	Escura		Hig.	Contr.	Perm.			
Zona 1	A	+	+	+		+	-	-	+	+	-
	B	+		+		+	-	-	+	-	-
	C	+		+		-	+	-	+	+	-
Zona 2	A	+		-		-	+	-	+	+	-
	B	+		-		-	+	-	+	+	-
	C	+		-		-	+	-	+	+	-
Zona 3	A		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	B		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	C		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	D		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	E		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	F		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	G		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	H		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	I		+	-	+	-	+	-	+	+	-
J		+	-		-	+	-	+	+	-	
Zona 4	A			-	+	-	-	+	+	+	-
	B			-	+	-	-	+	+	+	-
	C			-	+	-	-	+	+	+	-
	D			-	+	-	-	+	+	+	-

Fonte: as autoras.

**Quadro 4 - Resumo das variáveis de influência por zona bioclimática e grupos para as edificações unifamiliares com área até 45 m2 (modelo M04)**

ZB	GRUPOS	PAREDES			ABERTURAS			COBERTURA			
		UPAR	CTPAR	αPAR	FS	Vent		UCOB	CTCOB	αCOB	
		Isolamento	Pesada	Escura		Hig.	Contr.				Perm.
Zona 1	A		+	+		+	-	-	+	+	-
	B		+	+		+	-	-	+	-	-
	C		+	+		+	-	-	+	+	-
Zona 2	A	+		-		-	+	-	+	+	-
	B	+		-		-	+	-	+	+	-
	C	+	+	-		-	+	-	+	+	-
Zona 3	A		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	B		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	C		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	D		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	E		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	F		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	G		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	H		+	+	+	-	+	-	+	+	-
	I		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	J		+	-		-	+	-	+	+	-
Zona 4	A			-	+	-	-	+	+	+	-
	B	+		-	+	-	-	+	+	+	-
	C	+		-	+	-	-	+	+	+	-
	D	+		-	+	-	-	+	+	+	-

Fonte: as autoras.

**Quadro 5 - Resumo das variáveis de influência por zona bioclimática e grupos para as edificações unifamiliares com área acima de 45 m2 (modelo M05)**

ZB	GRUPOS	PAREDES			ABERTURAS			COBERTURA			
		UPAR	CTPAR	αPAR	FS	Vent		UCOB	CTCOB	αCOB	
		Isolamento	Pesada	Escura		Hig.	Contr.				Perm.
Zona 1	A	+	-	+		+	-	-	+	+	-
	B	+	-	+		+	-	-	+	-	-
	C	+	-	+		+	-	-	+	+	-
Zona 2	A	+		-		-	+	-	+	+	-
	B	+		-		-	+	-	+	+	-
	C	+	+	-		-	+	-	+	+	-
Zona 3	A		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	B		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	C		+	-	+	-	-	+	+	+	-
	D		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	E		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	F		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	G		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	H		+	+	+	-	+	-	+	+	-
	I		+	-	+	-	+	-	+	+	-
	J	+	+	-		-	+	-	+	+	-
Zona 4	A			-	+	-	-	+	+	+	-
	B	+		-	+	-	-	+	+	+	-
	C	+		-	+	-	-	+	+	+	-
	D	+		-	+	-	-	+	+	+	-

Fonte: as autoras.

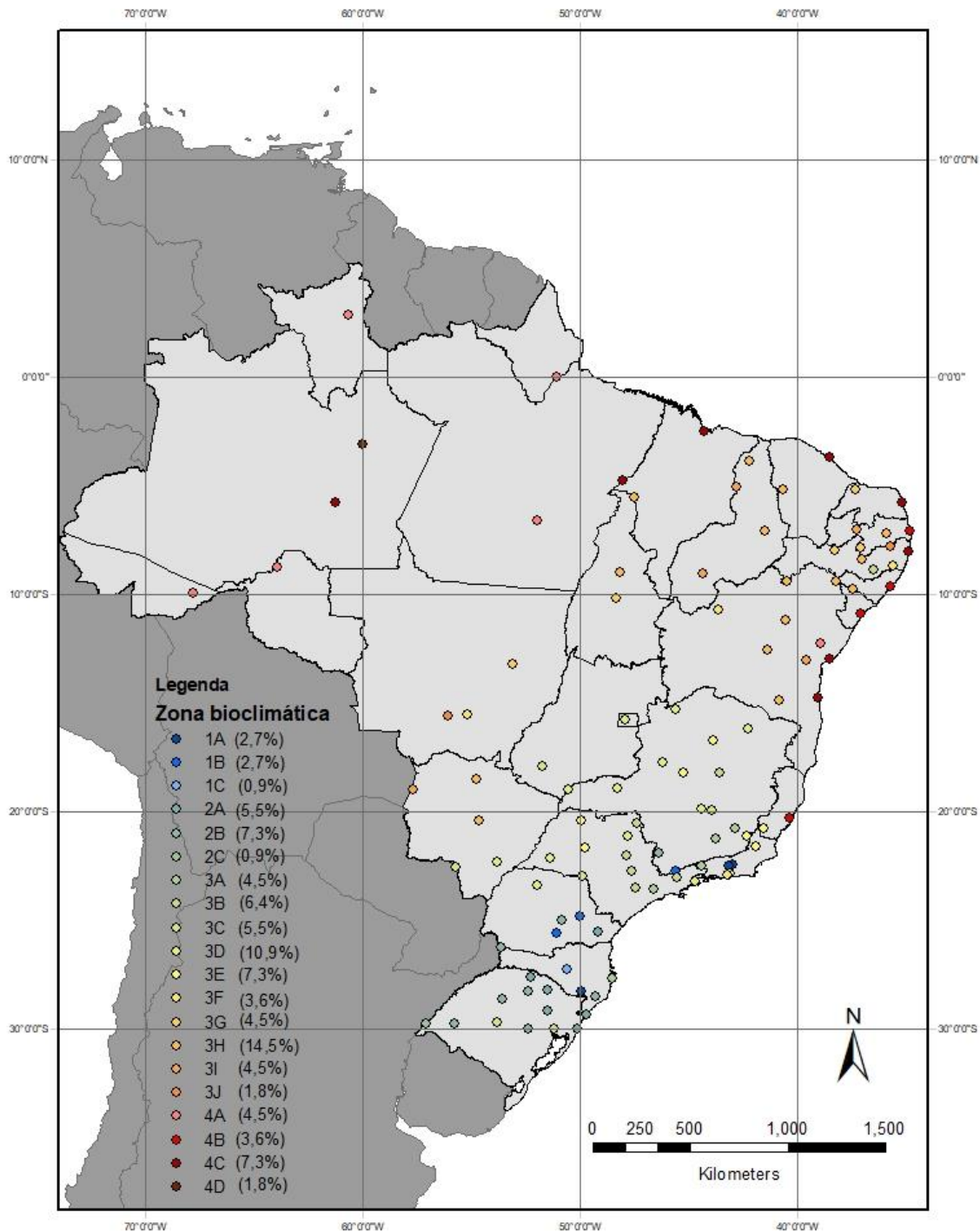
O agrupamento e sua distribuição ao longo do território brasileiro são apresentados na Figura 2.

### **Recomendações para as envoltórias e ventilação natural conforme o zoneamento bioclimático proposto**

Este item é uma síntese das recomendações expostas e discutidas no item anterior para cada uma das zonas propostas. Embasando-se nas variáveis de influência no desempenho térmico identificadas às zonas propostas e na caracterização das zonas propostas, definiu-se as melhores recomendações qualitativas para as envoltórias e para a ventilação natural de cada uma delas. As variáveis de influência positiva foram

assinaladas como recomendáveis, as variáveis com influência negativa como evitáveis e aquelas que não apresentaram influência significativa foram descartadas como recomendações, conforme sumarizado no Quadro 6 para as edificações multifamiliares e nos Quadro 7 e Quadro 8 para as edificações unifamiliares conforme a área útil da habitação.

Figura 2 - Proposta de agrupamento de cidades por desempenho térmico



Fonte: as autoras.

**Quadro 6 - Resumo das recomendações por zona bioclimática para as edificações multifamiliares (modelos M01, M02 e M03)**

ZONA BIOCLIMÁTICA	PAREDES			ABERTURAS		COBERTURA		
	UPAR	CTPAR	αPAR	FS	Vent	UCOB	CTCOB	αCOB
	Isolamento	Pesada	Clara	Sombreamento	Ventilação	Isolamento	Pesada	Clara
Zona 1								
A	Sim	Não	Não	Não	Higiênica	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Não	Não	Higiênica	Sim	Não	Sim
C	Sim	Não	Não	Não	Controlável	Sim	Sim	Sim
Zona 2								
A	Sim	Não	Sim	Não	Controlável	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Sim	Não	Controlável	Sim	Sim	Sim
C	Sim <sup>1</sup>	Não	Sim	Não	Controlável	Sim	Sim	Sim
Zona 3								
A	Não	Sim	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Não	Sim	Sim	Desejável	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Não	Sim	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Não	Sim	Sim	Sim	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
E	Não	Sim	Sim	Sim	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
F	Não	Sim	Sim	Desejável	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
G	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
H	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
I	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
J	Sim <sup>3</sup>	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
Zona 4								
A	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim

Notas: (1) Ventilar nos períodos quentes e nos períodos frios apenas ventilação higiênica, (2) Umidificar e resfriar o ar nos períodos extremamente quentes antes de adentrar a edificação, (3) Apenas para a fachada sul. Fonte: as autoras.

**Quadro 7 - Resumo das recomendações por zona bioclimática para as edificações unifamiliares com área até 45 m<sup>2</sup> (modelo M04)**

ZONA BIOCLIMÁTICA	PAREDES			ABERTURAS		COBERTURA		
	UPAR	CTPAR	αPAR	FS	Vent	UCOB	CTCOB	αCOB
	Isolamento	Pesada	Clara	Sombreamento	Ventilação	Isolamento	Pesada	Clara
Zona 1								
A	Não	Sim	Não	Não	Higiênica	Sim	Sim	Sim
B	Não	Sim	Não	Não	Higiênica	Sim	Não	Sim
C	Não	Sim	Não	Não	Higiênica	Sim	Sim	Sim
Zona 2								
A	Sim	Não	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
C	Sim <sup>1</sup>	Sim	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
Zona 3								
A	Não	Sim	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Não	Sim	Sim	Desejável	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Não	Sim	Sim	Desejável	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Não	Sim	Sim	Sim	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
E	Não	Sim	Sim	Sim	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
F	Não	Sim	Sim	Desejável	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
G	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
H	Não	Sim	Não	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
I	Não	Sim	Sim	Sim no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
J	Sim	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
Zona 4								
A	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim

Notas: (1) Ventilar nos períodos quentes e nos períodos frios apenas ventilação higiênica, (2) Umidificar e resfriar o ar nos períodos extremamente quentes antes de adentrar a edificação, (3) Apenas para a fachada sul. Fonte: as autoras.



**Quadro 8 - Resumo das recomendações por zona bioclimática para as edificações unifamiliares com área acima de 45 m<sup>2</sup> (modelo M05)**

ZONA BIOCLIMÁTICA	PAREDES			ABERTURAS		COBERTURA		
	U <sub>PAR</sub>	CT <sub>PAR</sub>	α <sub>PAR</sub>	FS	Vent	U <sub>COB</sub>	CT <sub>COB</sub>	α <sub>COB</sub>
	<i>Isolamento</i>	<i>Pesada</i>	<i>Clara</i>	<i>Sombreamento</i>	<i>Ventilação</i>	<i>Isolamento</i>	<i>Pesada</i>	<i>Clara</i>
<b>Zona 1</b>								
A	Sim	Não	Não	Não	Higiênica	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Não	Não	Higiênica	Sim	Não	Sim
C	Sim	Não	Não	Não	Higiênica	Sim	Sim	Sim
<b>Zona 2</b>								
A	Sim	Não	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
C	Sim <sup>1</sup>	Sim	Sim	Não	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
<b>Zona 3</b>								
A	Não	Sim	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Não	Sim	Sim	Desejável	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Não	Sim	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Não	Sim	Sim	Desejável	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
E	Não	Sim	Sim	Sim	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
F	Não	Sim	Sim	Desejável	Controlável <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
G	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
H	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
I	Não	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
J	Sim	Sim	Sim	Desejável no verão	Controlável <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
<b>Zona 4</b>								
A	Não	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
C	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim
D	Sim	Não	Sim	Sim	Permanente	Sim	Sim	Sim

Notas: (1) Ventilar nos períodos quentes e nos períodos frios apenas ventilação higiênica, (2) Umidificar e resfriar o ar nos períodos extremamente quentes antes de adentrar a edificação, (3) Apenas para a fachada sul. Fonte: as autoras.

## Conclusões

O atual zoneamento bioclimático brasileiro apresenta algumas limitações. O objetivo deste trabalho foi elaborar uma proposta de caracterização de zonas bioclimáticas para edificações residenciais brasileiras. A originalidade deste trabalho está na proposição de definição de zonas bioclimáticas embasada no conforto térmico adaptativo a partir de simulações de desempenho, ao invés da utilização de dados climáticos médios, também na ampliação das tipologias residenciais adotadas como base e, por fim, na utilização da análise de sensibilidade aplicando a fatorial.

Para os modelos de referência analisados, as principais variáveis de influência foram a absorvância solar das paredes e a ventilação natural. A capacidade térmica das paredes apresentou influência com maior recorrência que a transmitância térmica, sendo uma variável significativa em um número maior de casos. Por fim, o fator solar das aberturas apresentou influência em raras exceções, aparecendo pouco significativo nas condições de conforto térmico residencial para os modelos analisados e suas áreas de aberturas.

Além disso, pode-se constatar a influência da geometria em relação ao comportamento das variáveis analisadas, alterando quantitativamente a influência das variáveis, principalmente a absorvância das paredes, a necessidade de ventilação natural e, em alguns poucos casos, a demanda por proteção das aberturas. Tal resultado aponta ser relevante que as análises para caracterização de zonas bioclimáticas contemplem mais de um modelo de edificação, tornando as análises mais realísticas e abrangentes. Adicionalmente, reforça a importância de se utilizar o desempenho de edificações na caracterização de zonas bioclimáticas, conforme já exposto por outros autores.

Os resultados apontaram haver coerência entre as variáveis observadas como influentes e as melhores condições de conforto térmico, o que permitiu assim propor um agrupamento das zonas com base nestes resultados. A metodologia embasada em

modelo adaptativo de conforto e em simulações mostrou-se satisfatória. Além disso, o experimento fatorial apresentou-se como uma ferramenta útil para a caracterização do comportamento da edificação quanto ao conforto térmico. A análise das melhores condições de conforto térmico permitiu um refinamento da caracterização das zonas quanto à ventilação natural, se constante ou controlável, assim como da necessidade de fator solar mais baixo das aberturas. Foram caracterizadas quatro zonas bioclimáticas limitadas às cidades analisadas, subdivididas em grupos de acordo com as diferentes necessidades de ventilação, totalizando assim 20 grupos. As zonas bioclimáticas foram assinaladas em função das características das paredes externas: paredes isolantes, paredes escuras, paredes pesadas e paredes não isolantes e leves. Dentro das zonas, a subdivisão ocorreu conforme a demanda por ventilação (constante ou controlável).

Para cada uma das zonas caracterizadas foram definidas qualitativamente as recomendações para as envoltórias e de ventilação de acordo com a tipologia da edificação, uma vez que a geometria apresentou influência no comportamento térmico das edificações.

Por fim, pode-se concluir que o experimento fatorial como método para a definição de zonas bioclimáticas é aplicável, sendo sensível às diferenças climáticas e conseqüente impacto no conforto térmico. Foi possível diferenciar com coerências comportamentos baseados em conforto térmico para a definição das zonas. O presente trabalho contribui com o aprofundamento da discussão de metodologias aplicáveis a propostas de zoneamento bioclimático voltados para climas quentes, em que o enfoque está no conforto térmico e não na eficiência energética.

Este trabalho expôs os resultados referentes a etapa inicial da pesquisa. Nesta primeira etapa, aplicou-se a fatorial para definição de um comportamento padrão mais geral, para posterior refinamento das zonas bioclimáticas e suas recomendações de projeto passivo. Pretende-se, em etapas subseqüentes, explorar com profundidade a influência das paredes internas e do tamanho das aberturas associada à transmitância térmica do vidro e aos dispositivos de sombreamento. Em seguida, analisar a influência da geometria no desempenho térmico, especificar os valores das propriedades termofísicas de cada zona proposta, assim como a especialização de dados contemplando todo o território brasileiro.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

## **Referências**

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

AHMED, B. Y. M. Climatic classification of Saudi Arabia: an application of factor – cluster analysis. *GeoJournal*, v. 41, Jan. 1997. p. 69-84. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006827322880>.

AMORIM, A. C. **Análise de Métodos de Determinação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro a partir do Estudo de Caso de Colatina - ES**. 2015. 130 p. Dissertação (Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7664/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

**FERREIRA, C. C.; CARLO, J. C.**

Aplicação de experimento fatorial como método para a definição de zonas bioclimáticas a partir do conforto térmico

---

ARAÚJO, V. M. D. D. **Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordeste Brasileiro**. 1996. 179 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.

ARAÚJO, V. M. D. D.; ARAÚJO, E. H. S. D. Estudo da aplicabilidade de índices e zonas de conforto térmico na avaliação de desempenho térmico de edificações em Natal-RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: ANTAC, 1997. p. 262-268.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 90.1**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta: ANSI, 2013.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI, 2017.

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

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 215 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. **Manual de Procedimientos Calificación Energética de Viviendas en Chile**. Santiago: Minvu, 2018. v. 2. (Monografías y Ensayos. Estándares Técnicos para Edificaciones Residenciales). Disponível em: <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3481>. Acesso em: 20 jun. 2020.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Criterios Ambientales para el Diseño y Construcción de Vivienda Urbana**. Bogotá: MADS, 2012. 200 p.

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: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: ANTAC, 2012. p. 1907-1915.

DE DEAR, E.; XIONG, J.; KIM, J.; CAO, B. A review of adaptive thermal comfort research since 1998. **Energy and Buildings**, v. 214, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109893>.

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

DOE - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **High-Performance Home Technologies**: Guide to Determining Climate Regions by Country. Washington: DOE, 2015.

EQUADOR. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. **NEC - Norma Ecuatoriana de la Construcción**: Eficiencia energética en edificaciones residenciales (EE). Quito: MIDUVI, 2018. 48 p.

EQUADOR. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. **NEC 11** - Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador. Quito: MIDUVI, 2011.

ERELL, E.; PORTNOV, B. A.; ETZION, Y. Mapping the potential for climate-conscious design of buildings. **Building and Environment**, v. 38, n. 2, p. 271-281, Feb. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00119-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00119-1).

EVANS, J. M. **The Comfort Triangles**: a new tool for bioclimatic design. 2007. 315 p. *Thesis (Doctor of Philosophy)* Technische Universiteit Delft, Delft, 2007.

EVANS, J. M. Zonificación Bioambiental en Latinoamérica para una Arquitectura Sustentable. **Avances em Energías Renovables e Medio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 163-168, 2004. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81752>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. D.; CARLO, J. C. Variáveis de influência no desempenho térmico de edificações em regime transiente. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v12i00.8661655>.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. D. Avaliação da aplicabilidade de índices de conforto adaptativo para o caso brasileiro. ENCONTRO LATINOAMERICANO, 8.; ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013. **Anais [...]**. Brasília: ANTAC. 2013. p. 692-701.

GARCÍA, A. S. W. **Zoneamento bioclimático para edificações baseado no desempenho térmico**. 2017. 151 p. Tese (Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campina, Campinas, 2017.

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

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (org.) **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 592 p.

GONÇALVES, W. B. **Estudo de Índices de Conforto Térmico Avaliados com Base em População Universitária na Região Metropolitana de Belo Horizonte [manuscrito]**. 2000. 241 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **The Building Services Engineer**, 44, p. 5-27, Apr. 1976.

INN. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (Chile). **NCh 1078: Arquitectura y Construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico**. 2. ed. Santiago: INN, 2008.

INVIDIATA, A.; MELO, A. N.; VERSAGE, R.; SOUSA, R.; LAMBERTS, R. Análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2016. p. 1079-1094.

IRAM. INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **IRAM 11603 - Acondicionamiento Térmico de Edifícios: Clasificación bioambiental de la República Argentina**. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011. 43 p. Disponível em: <https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2011/08/iram-11603-e1.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

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

MARTINS, T. A. D. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. D. L. B. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 59-75, abril/junho 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200005>.

MAZZAFERRO, L.; MACHADO, R. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Do we need building performance data to propose a climatic zoning for building energy efficiency regulations? **Energy and Buildings**, v. 225, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110303>.

NEGREIROS, B.; PEDRINI, A. Métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido, com condicionamento passivo. In: Encontro Latinoamericano, 8.; ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ANTAC. 2013. p. 346-353.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptative Thermal Comfort: principles and practice**. New Yok: Routledge, 2012.

NICOL, J. F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 7, p. 628-637, July 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.016>.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. D. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 7-51, mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000100002>.

PERU. Ministerio de Educacion Institucional. **Guía De Aplicación De Arquitectura Bioclimática En Locales Educativos**. Lima: Oficina de Infraestructura Educativa, 2008. 114 p. Disponível em: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550A](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550A). Acesso em 20 out. 2021.

REIS, E. A.; REIS, I. A. **Análise Descritiva de Dados**. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 64 p. Disponível em: <http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/rte0202.pdf>. Acesso em 20 ago. 2021.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil versão 2**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos: LabEEE, 2013a. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v2.pdf](http://www.labee.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: LabEEE, 2013b. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Climas\\_v2-1.pdf](http://www.labee.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: LabEEE, 2014. Disponível em: [http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Roriz\\_2014.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Roriz_2014.pdf). Acesso em: 25 ago. 2020.

SAID, S. A. M.; HABIB, M. A.; IQBAL, M. O. Database for building energy prediction in Saudi Arabia. **Energy conversion and management**, v. 44, n. 1, p. 191-201, Jan. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00042-0).

SCHMID, A. L. Tradução comentada do clássico artigo que lança a ideia do diagrama bioclimático do edifício. In: ENCONTRO NACIONAL, 13.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2015. **Anais [...]**. Brasília: ANTAC. 2015.

SILVEIRA, A. L. R. C.; KALLAS, L. E.; RIBEIRO, S. C. Determinação de Zona de Conforto Térmico para Ambientes Escolares em Teresina. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2.; ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003. **Anais [...]**. Curitiba: ANTAC. 2003. p. 346-353.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. 216 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TEIXEIRA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATTO, M. J.; MELLO, A. P.; LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. CB3E. Florianópolis, 2015.

TELLES, C. P. **Proposta de Simplificação do RTQ-R**. 2016. 118 f. Dissertação (*Magister Scientiae*) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: the 2014 Revision**. New York: United Nations, 2015. 517 p.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Comparation of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications. **Energy and Buildings**, v. 146, p. 111-121, July 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.044>.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. **Building and Environment**, v. 112, p. 337-350, Feb. 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.046>.

WALSH, A.; LABAKI, L.; CÓSTOLA, D. Panorama do Zoneamento Bioclimático nas Américas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, **Anais [...]**. Maceió: ENTAC, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17012/entac2014.726>.

WAN, K. K. W.; LI, D. H. W.; YANG, L.; LAM, J. C. Climate classifications and building energy use implications in China. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 9, p. 1463-1471, Sept. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.016>.

WBCSD. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Energy efficiency in buildings: business realities and opportunities: facts and figures**. London: NHBS, 2007. 44 p.

XAVIER, A. A. P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2 Grau na Região de Florianópolis**. 1999. 209 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XIONG, J.; YAO, R.; GRIMMOND, S.; ZHANG, Q.; LI, B. A hierarchical climatic zoning method for energy efficient building design applied in the region with diverse climate characteristics. **Energy and Buildings**, v. 186, p. 355-367, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.005>.

ZUHAIRY, A. A.; SAYIGH, A. A. M. The development of the bioclimatic concept in building design. **Renewable Energy**, v. 3, n. 4/5, p. 521-533, June-July 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(93\)90118-Z](https://doi.org/10.1016/0960-1481(93)90118-Z).

## APÊNDICE A – Quadro com os fatores de maior influência para os modelos residenciais analisados

Quadro A - Agrupamento com base nos fatores de maior influência para os modelos residenciais analisados

Modelo	Parede			Abertura		Localidade
	$U_{par}$	$CT_{par}$	$AbS_{par}$	$FS$	$Ventilação$	
M01	+		+		-	Dionísio Cerqueira/SC; Cruz Alta/RS; Rio Pardo/SC; Ivai/PR; Alegrete/RS; Passo Fundo/SC; Urussanga/SC; Caldas/MG; Bento Gonçalves/RS; Erechim/SC
M02	+		-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		-	
M05	+		-		-	
M01	+		+		-	Uruguaiana/RS
M02	+		-			
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-	+	-	
M05	+	+	-		-	
M01	+		+		-	Curitiba/PR
M02	+		-			
M03		+	-	+	+	
M04	+		-		-	
M05	+		-		-	
M01	+		+		-	Torres/RS; Curitiba/SC
M02	+		+			
M03		+	-	+	+	
M04			+		+	
M05	+		-		-	
M01	+		-		-	São Joaquim/SC
M02	+		+			
M03		+	+		+	
M04						
M05						
M01	+		-		-	Petrópolis/RJ; Teresópolis/RJ
M02	+		+			
M03		+	-	+	+	
M04		+	+		-	
M05	+	-	+		-	

Modelo	Parede			Abertura		Localidade
	$U_{par}$	$CT_{par}$	$Abs_{par}$	$FS$	Ventilação	
M01	+		-		-	Campos do Jordão/SP; Inácio Martins/PR; Lagoa Vermelha/RS; Castro/PR
M02	+		+			
M03		+	-	+	+	
M04			+		+	
M05	+		-		-	
M01		+	-		+	Cuiabá/MT; Surubim/PE
M02		+	-	+	+	
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-		+	
M05		+	-	+	+	
M01		+	-		+	Patos/PB; Campo Verde/MT; Palmares/PE; Buritirama/BA
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-		+	
M05		+	-		+	
M01		+	-	+	+	Serra Talhada/PE; Mossoró/RN; Monteiro/PB; Gaúcha do Norte/MT; Palmas/TO
M02	+	+	-		+	
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-		+	
M05			-		+	
M01		+	-	+	+	Lins/SP; Votuporanga/SP; Muriaé/MG; Montes Claros/MG; Três Marias/MG; Niterói/RJ
M02	+	+	-		+	
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-	+	+	
M05			-		+	
M01	+	+	-		+	São Paulo/SP; Viçosa/MG; Resende/RJ; Florianópolis/SC; Barbacena/MG
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-		+	
M05		+	-		+	
M01		+	-		+	Bom Jesus do Piauí/PI; Teresina/PI; Amargosa/BA; Corumbá/MS
M02	+	+	-		+	
M03		+	-	+	+	
M04	+	+	-		+	
M05		+	-	+	+	
M01		+	-		+	Cratêus/CE; Imperatriz/MA; Picos/PI; Lençóis/BA; Jacobina/BA; Arcoverde/PE; Campina Grande/PB; Paulo Afonso/BA; Pão de Açúcar/AL; Petrolina/PE
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		+	
M05			-		+	
M01		+	-		+	Pedro Afonso/TO; Coxim/MS; Campo Grande/MS; Vitória da Conquista/BA
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		+	
M05		+	-		+	
M01		+	-		+	São Simão/GO; Brasília/DF; Chapada Gaúcha/MG; Salinas/MG
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		+	
M05		+	-		+	
M01		+	-		+	João Pinheiro/MG; Ivinhema/MS; Paraty/RJ
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		+	
M05			-		+	
M01		+	-		+	Uberlândia/MG; Presidente Prudente/SP; Ribeirão Preto/SP; Maringá/PR; Florestal/MG
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-		+	

Modelo	Parede			Abertura		Localidade
	$U_{par}$	$CT_{par}$	$Abs_{par}$	$FS$	Ventilação	
M05			-			Belo Horizonte/MG; Santa Maria/RS; Porto Alegre/RS; Ponta Porã/MS; Jataí/GO; Ourinhos/SP
M01		+	-		+	
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04		+	-	+	+	
M05		+	-		+	Diamantina/MG; Garanhuns/PE; Franca/SP; Sorocaba/SP; São Carlos/SP; Taubaté/SP; Piracicaba/SP
M01		+	-		+	
M02	+	+	-			
M03		+	-	+	+	
M04			+		+	
M05		+	-		+	Recife/PE; Esperantina/PI; Belém/PA
M01			-	+	+	
M02			-			
M03			-		+	
M04			-			
M05			-			Rio Branco/AC; São Félix do Xingú/PR; Feira de Santana/BA; Porto Velho/RO; Macapá/AP
M01			-		+	
M02			-			
M03			-		+	
M04			-			
M05			-			Manicoré/AM; Rondon do Pará/PR; Fortaleza/CE
M01			-		+	
M02			-			
M03			-		+	
M04			-		+	
M05			-			Manaus/AM; Natal/RN; Salvador/BA; São Luís/MA; Ilhéus/BA
M01			-		+	
M02			-			
M03			-		+	
M04	+		-		+	
M05			-		+	Aracaju/SE; Vitória/ES; Maceió/AL; João Pessoa/PB
M01			-		+	
M02			-			
M03			-	+	+	
M04	+		-			
M05	+		-		+	Rio de Janeiro/RJ
M01			-		+	
M02			-			
M03			-	+	+	
M04	+		-	+		
M05			-		+	

### 1 Camila Carvalho Ferreira

Arquiteta Urbanista pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de Federal de Ouro Preto. Pós-doutoranda em Arquitetura na Universidade Federal de Viçosa Endereço postal: Av. Peter Henry Rolphs, s/n, Viçosa, MG – Brasil. CEP 36570900

### 2 Joyce Correna Carlo

Arquiteta Urbanista pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de Federal de Santa Catarina. Professora Associada na Universidade Federal de Viçosa. Endereço postal: Av. Peter Henry Rolphs, s/n, Viçosa, MG – Brasil. CEP 36570900