



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DE 411 CIDADES BRASILEIRAS BASEADO EM INDICADORES DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NATURALMENTE VENTILADAS¹

INVIDIATA, Andrea (1); MELO, Ana Paula (2); VERSAGE, Rogério (3); SOUSA, Raquel
Fernandes de (4); LAMBERTS, Roberto (5)

(1) UFSC, e-mail: a.invidiarta@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: a.pmelo@posgrad.ufsc.br;
(3) UFSC, e-mail: rogerio@versage.com.br; (4) UFSC, e-mail: raquelfersousa@gmail.com;
(5) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A presente pesquisa científica tem como objetivo analisar o agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. Para simular o uso de diferentes estratégias de projeto passivas, foram elaborados nove casos distintos de uma edificação residencial unifamiliar de interesse social. Estes casos são avaliados, exclusivamente, quando naturalmente ventilados, através do programa de simulação *EnergyPlus*. O indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e aquecimento foi analisado para 411 cidades brasileiras, de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Com base nos resultados, nota-se que somente algumas das estratégias de projeto passivas utilizadas influenciam de forma significativa no comportamento térmico da edificação. Além disso, observou-se a possibilidade de agrupamento do atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) em um total de cinco zonas bioclimáticas para edificações residenciais naturalmente ventiladas, e do zoneamento proposto por Roriz (RORIZ, 2014) também em um total de cinco zonas climáticas.

Palavras-chave: Zoneamento bioclimático brasileiro. Indicador de desempenho. Edificações residenciais. RTQ-R.

ABSTRACT

The aim of this scientific research is to analyse the grouping of 411 Brazilian cities based on performance indicators of naturally ventilated residential buildings. Different cases of a single-family residential building of social interest were elaborated to simulate the use of different passive design strategies. All cases are naturally ventilated and are evaluated through the EnergyPlus simulation program. The performance indicator cooling and heating degree-hour was analysed for 411 Brazilian cities, according to the current bioclimatic zoning (ABNT, 2005) and the climatic zoning proposed by Roriz (2014). Based on results, it is noted that only some passive design strategies considered present a significantly influence on building thermal behaviour. Moreover, it was noticed the possibility of grouping the current bioclimatic zoning (ABNT, 2005) in a total of five bioclimatic zones for naturally ventilated residential buildings, and also in a total of five climatic zones proposed by Roriz (RORIZ, 2014).

Keywords: Brazilian bioclimatic zoning. Performance indicator. Residential buildings. RTQ-R.

¹ INVIDIATA, Andrea; MELO, Ana Paula; VERSAGE, Rogério; SOUSA, Raquel Fernandes de; LAMBERTS, Roberto. 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, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, muitos países vêm pesquisando e analisando a definição dos zoneamentos bioclimáticos da sua região, com o objetivo de dar suporte aos projetos arquitetônicos das edificações. As condições climáticas externas influenciam diretamente a maneira de se projetar e ao mesmo tempo a eficiência energética dos edifícios. Mesmo assim os atuais zoneamentos climáticos mundiais se baseiam em variáveis climáticas para definir o zoneamento construtivo de cada país (CHINA, 2014; ITALIA, 1993; DOE, 2004). É importante destacar para o fato de que, a relação número de zonas por área de território não deveria se diferenciar para algumas regiões.

Na Austrália, o Departamento de Meteorologia desenvolveu o zoneamento bioclimático com base nas temperaturas de bulbo seco e úmido, dividindo o território em oito zonas (GREENHOUSE OFFICE, 2000). Para a definição do zoneamento bioclimático chinês, foram utilizadas cinco variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco e úmido, radiação solar global e difusa e a velocidade e direção do vento. Os critérios usados para a classificação de cada zona bioclimática foram: temperatura média mensal e os graus-dia (CHINA, 2014; LAM et al., 2006). Na Índia, o território é dividido em seis zonas bioclimáticas. Através dos dados levantados em 233 estações climáticas, foi possível dividir o território de acordo com cinco variáveis climáticas: radiação solar, temperatura média, umidade do ar, precipitações e velocidade do vento (MAZUMDAR, 2002). Para a definição do zoneamento bioclimático na Itália, que divide o território em seis zonas climáticas, foi adotada como variável de análise os graus-dias para aquecimento. Dependendo da temperatura de bulbo seco média diária externa da cidade analisada, os graus-dias de aquecimento foram calculados com temperaturas abaixo de 20°C (ITALIA, 1993). No início de 2000, pesquisadores do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2004) elaboraram um zoneamento climático simplificado, composto por oito zonas climáticas, baseado em dados de temperatura. As zonas são também divididas em três regimes de umidade A, B, e C. Assim, o território é dividido em até 24 zonas climáticas. Na América do Sul, o Chile é dividido em sete regiões, adotando a variável de graus-dia de aquecimento (DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN PLANNING, 2012). Enfim, na Turquia, a norma TS 825 (Heating Energy Conservation Standard for Buildings in Turkey, 1998) divide o território turco em quatro zonas bioclimáticas baseada no uso de graus-dias. Porém, a pesquisa realizada por YILMAZ (2007) apontou que o atual zoneamento não corresponde um desempenho energético uniforme das edificações, recomendando a elaboração de um novo zoneamento climático do país.

No Brasil, a Norma de "Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social" (ABNT, 2005) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro com base principalmente em três dados climáticos: as médias mensais das temperaturas máximas, as médias mensais das temperaturas mínimas, e as médias mensais da umidade relativa do ar. O zoneamento bioclimático brasileiro divide o território em oito zonas

bioclimáticas (ZB), onde a ZB1 é a zona bioclimática mais fria e a ZB8 a mais quente. Além disso, a norma ABNT-NBR 15220-3 (2005) apresenta recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social de até cinco pavimentos para cada zona bioclimática. Nos últimos anos, várias pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar o atual zoneamento bioclimático brasileiro (ZARATE et al., 2008; MARTINS et al., 2012; RORIZ, 2014).

No estado de Minas Gerais, Zárate et al. (2008) desenvolveram um estudo para aprimorar os processos de interpolação de dados climáticos na classificação bioclimática da Norma NBR-15220-3. Martins et al. (2012), avaliaram o atual zoneamento bioclimático na região do semiárido nordestino. Os autores compararam o desempenho de uma edificação padrão em duas cidades localizadas na zona bioclimática 8: Maceió (quente-úmido) e Pão de Açúcar (semiárido). Os resultados demonstraram que, mesmo pertencendo a mesma zona bioclimática, as duas cidades apresentaram um desempenho muito diferente. Roriz (2012a; 2012b; 2014), desenvolveu a proposta de um novo zoneamento que divide o Brasil em um total de 24 grupos (G), onde a G1 representa a zona climática mais fria e a G24 a zona climática mais quente. A nova proposta baseia-se na utilização de quatro parâmetros para classificar os climas: média anual da temperatura do ar; diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal; média anual da amplitude térmica; e diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal.

Como se pode observar, os principais países do mundo apontam, para definição do próprio zoneamento, o uso de variáveis climáticas locais. O objetivo da presente pesquisa é analisar o agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas. O indicador de desempenho grau-hora de resfriamento e aquecimento será analisado para 411 cidades brasileiras, de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014).

2 MÉTODO

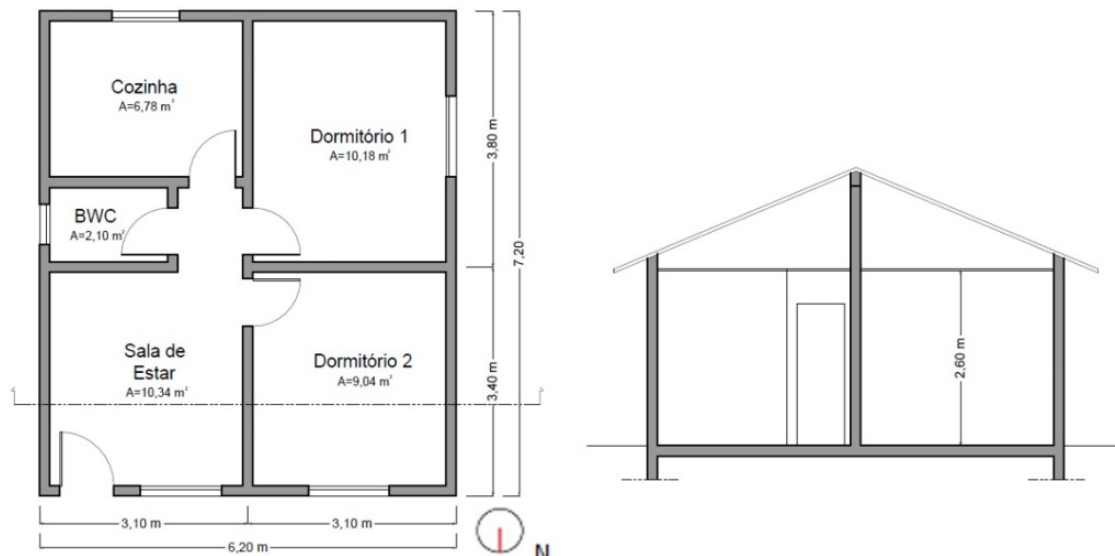
2.1 Estudo de caso

O modelo geométrico do edifício residencial é um projeto padrão de habitação popular unifamiliar (CAIXA, 2007). A edificação, com uma área de 38,16 m², possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,60 m. A edificação é composta de uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada: sala e dois dormitórios (Figura 1).

Para avaliar diferentes estratégias de projeto na edificação e consequentemente diferentes níveis de eficiência energética de acordo com o Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012), foram elaborados nove diferentes casos com base na edificação residencial. A edificação, no seu caso base,

apresenta paredes internas e externas em blocos de alvenaria com reboco em argamassa ($U=2,46\text{W/m}^2\text{k}$; $C_t= 150\text{kJ/ m}^2\text{k}$; $\alpha= 0,3$). A cobertura é inclinada em duas águas, com telha cerâmica, estrutura de madeira e forro em PVC ($U=1,75\text{W/m}^2\text{k}$; $C_t= 21\text{kJ/ m}^2\text{k}$; $\alpha= 0,35$). O piso é em concreto maciço com revestimento em piso cerâmico. As janelas são de correr com vidro simples incolor de 3 mm, sem elementos de sombreamento.

Figura 1 – Planta baixa da edificação residencial.



Fonte: adaptado CAIXA (2007).

De acordo com o caso base (Caso 1) foram elaboradas oito diferentes combinações para avaliar a influência de diferentes estratégias bioclimáticas, como: inércia térmica, isolamento térmico, sombreamento e ventilação natural. As diferentes combinações construtivas da envoltória são apresentadas abaixo.

Os diferentes casos da edificação residencial foram avaliados exclusivamente quando naturalmente ventilados. Somente um caso foi avaliado sem o uso da ventilação natural, considerando apenas infiltração de ar, para simular um diferente comportamento de uso da edificação pelos usuários. Os dados de entrada para os casos com ventilação natural e infiltração foram baseados no RTQ-R (BRASIL, 2012). A Tabela 1 apresenta as características térmicas da envoltória dos nove casos analisados.

- Caso 2: alta absorvência solar das paredes e cobertura: 0,7;
- Caso 3: venezianas integradas nas aberturas dos três ambientes de permanência prolongada, com temperatura de controle de 20°C;
- Caso 4: inércia térmica (tijolos maciços de 20 cm);
- Caso 5: sem utilização de ventilação natural, considerando unicamente a taxa de infiltração;
- Caso 6: com paredes externas leves;
- Caso 7: uso de isolamento térmico nas paredes externas e cobertura com EPS 5 cm (localizado na camada externa do componente

- construtivo);
- Caso 8: paredes externas leves com isolamento térmico com EPS com espessura de 5 cm (localizado na camada externa do componente construtivo);
 - Caso 9: paredes leves isoladas e cobertura isolada com EPS com espessura de 5 cm (localizado na camada externa do componente construtivo).

Tabela 1 – Características térmicas da envoltória dos nove casos avaliados.

CASO	Cobertura					Parede					Piso			Aberturas			Ventilação [°C]	Estratégias bioclimáticas
	Tipo	Isol.*	U [W/(m²K)]	Ct [kJ/(m²K)]	α	Tipo	Isol.*	U [W/(m²K)]	Ct [kJ/(m²K)]	α	Tipo	Isol.	U [W/(m²K)]	Vidro	Tipo	Venezianas		
1	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural
2	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.7	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.7	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural + Ganho Solar
3	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	sim T> 20°C	T>20°C	Ventilação Natural + Sombreamento
4	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos maciço cerâmicos	Não	2.44	320	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Inércia Térmica + Ventilação Natural
5	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Não	2.46	150	0.3	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	Não	Sem Ventilação
6	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Não	2.18	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural + Parede Leve
7	Telha de barro forro PVC	Lã de rocha 5 cm	0.65	22	0.35	Tijolos furados cerâmicos	Lã de rocha 5 cm	0.8	151	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Lã de rocha 5 cm	0.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*
8	Telha de barro forro PVC	Não	1.75	21	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Lã de rocha 5 cm	0.65	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Não	3.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*
9	Telha de barro forro PVC	Lã de rocha 5 cm	0.65	22	0.35	Paredes em OSB* 1,8 cm	Lã de rocha 5 cm	0.65	44	0.5	Laje maciça 10 cm Adiabático	Lã de rocha 5 cm	0.75	simples 3mm	2 folhas de correr	Não	T>20°C	Ventilação Natural+ Parede Leve + Isol.*

* Isol= Isolamento Térmico OSB= Oriented Strand Board (painel de madeira)

Fonte: autores

2.2 Simulações computacionais

Para analisar o agrupamento das 411 cidades brasileiras com base no indicador de desempenho graus-hora para os nove casos, no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014), foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus*, versão 8.1. Os diferentes casos foram avaliados nos 411 arquivos climáticos elaborados por Roriz (2012), a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2000 e 2010.

A edificação foi avaliada considerando a ocupação constante de uma família de quatro pessoas. Os dados relativos à ocupação, carga térmica, e

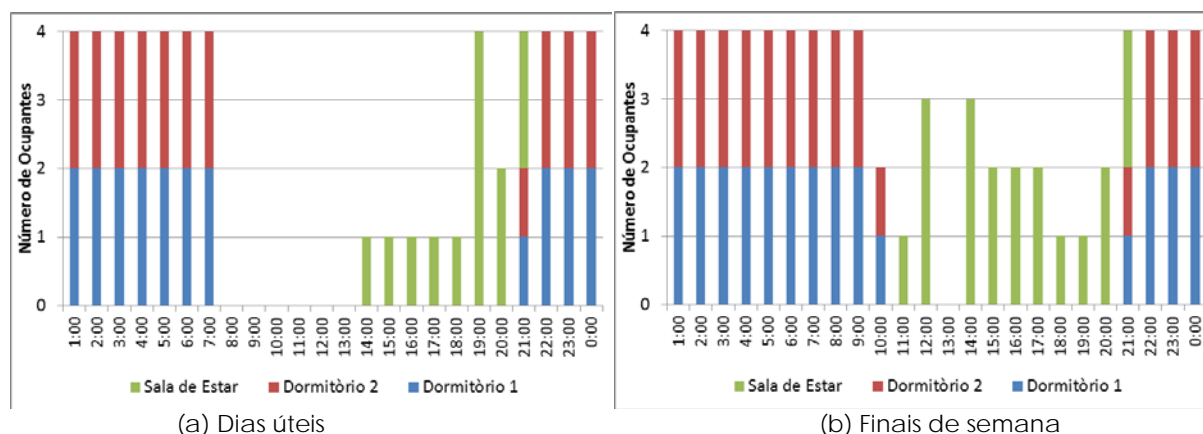
padrão de uso foram baseados no RTQ-R (BRASIL, 2012) e são apresentados na Tabela 2. O padrão de ocupação pode ser observado através da Figura 2.

Tabela 2 – Dados de carga térmica e padrão de ocupação da edificação residencial

Ambiente	Parâmetros		Especificações
Sala	Ocupação		4 pessoas
	Carga térmica interna	Iluminação	6 W/m ²
		Equipamentos	1,5 W/m ²
		Pessoas	60 W/m ²
Dormitórios	Ocupação		2 pessoas
	Carga térmica interna	Iluminação	5 W/m ²
		Pessoas	45 W/m ²

Fonte: RTQ-R (2012)

Figura 2 – Padrão de ocupação da edificação para os dias úteis e finais de semana.



Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012).

Todos os casos foram avaliados com piso adiabático para facilitar a simulação termo energética das 411 cidades brasileiras.

A variável de saída utilizada para a análise dos dois zoneamentos bioclimáticos é o grau hora. O método de grau hora é em geral, um bom indicador para análise do desempenho térmico de edificações residenciais naturalmente ventiladas, já que considera as condições de conforto do usuário sem o uso de condicionamento artificial (VERSAGE, 2009). O grau hora pode ser definido como o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base ao longo de um ano. Para o desenvolvimento da pesquisa foram analisados dois parâmetros:

- desempenho térmico da edificação no verão: calculado através do indicador de grau-hora para resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada de acordo com RTQ-R (BRASIL, 2012), como mostra a Equação 1;
- desempenho térmico da edificação no inverno calculado através do indicador de grau-hora para aquecimento (GHA) de cada ambiente de permanência prolongada, como mostra a Equação 2.

$$\text{GHR} = \sum (\text{To} - 26^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

$$\text{GHA} = \sum (18^{\circ}\text{C} - \text{To}) \quad (2)$$

Onde:

GHR= graus-hora para resfriamento;

GHA= graus-hora para aquecimento;

To = temperatura operativa horária dos ambientes de permanência prolongada durante o ano todo.

2.3 Análise de agrupamento

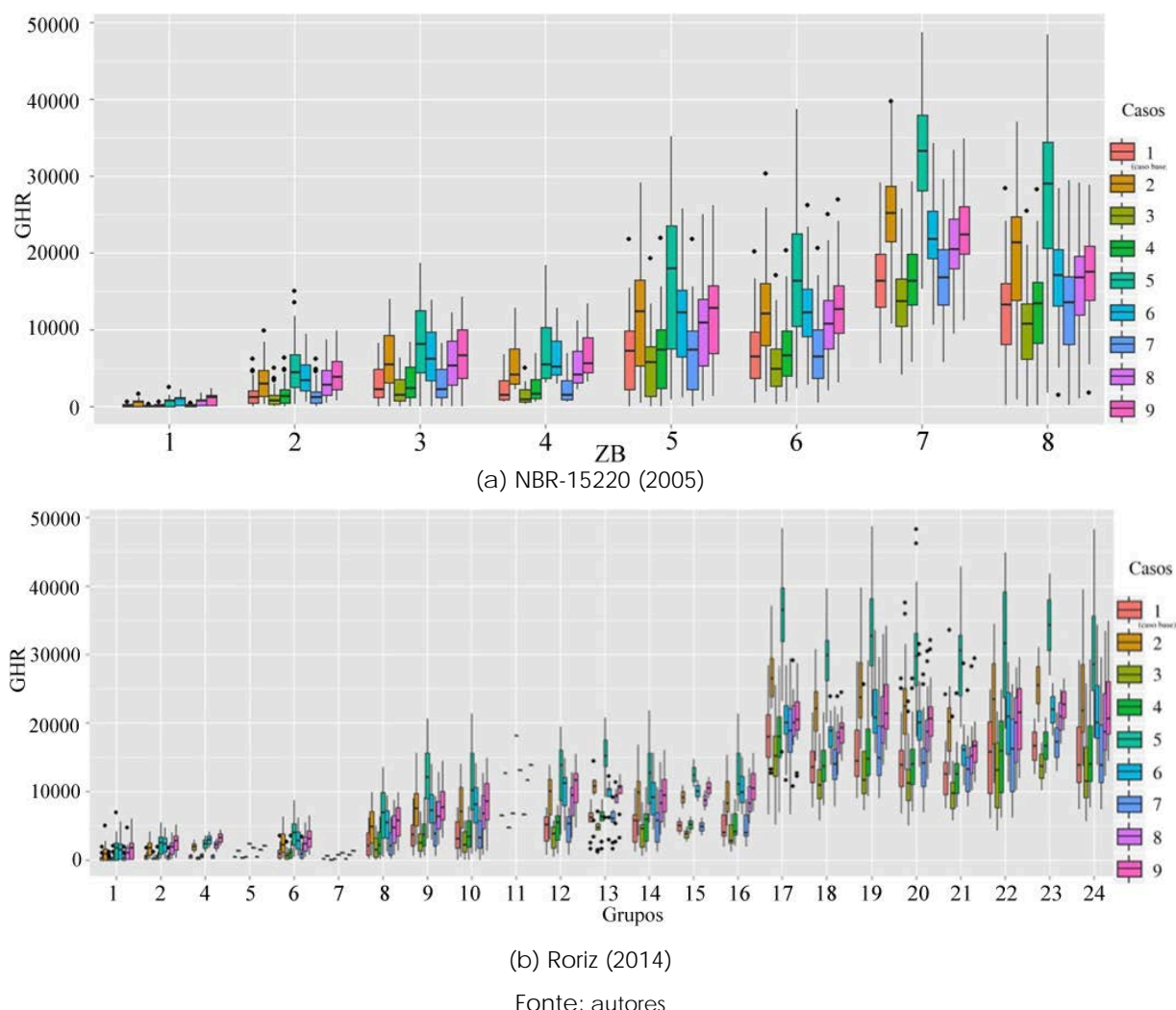
Obtidos os resultados de graus horas de desconforto da edificação nas 411 cidades nos nove casos, foi elaborada uma análise de agrupamento das zonas bioclimáticas de acordo com o desempenho da edificação para o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e para o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Durante a análise, foram agrupadas as zonas bioclimáticas que apresentaram resultados semelhantes.

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos resultados dos indicadores de desempenho

A Figura 3 apresenta os resultados de graus-horas de resfriamento dos nove casos no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e no zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Cada *box-plot* representa a média de graus horas de desconforto dos diferentes casos analisados para a edificação residencial, considerando todas as cidades presentes na zona climática correspondente. Os pontos presentes na figura representam os resultados espúrios com relação ao desempenho térmico da edificação para cada cidade analisada. Observa-se que o pior desempenho nos dois zoneamentos foi obtido pelo caso 5, sem ventilação natural, em todas as zonas e grupos. A edificação com alta absorvância na envoltória (caso 2) foi o segundo pior caso nos zoneamentos avaliados. Enquanto que o caso 3, com venezianas nas aberturas, obteve o melhor desempenho em todas as zonas e grupos para os dois zoneamentos. Os resultados obtidos evidenciam que na zona bioclimática 1 (ABNT, 2005) e no grupo climático 1 (Roriz, 2014) o número de graus horas de resfriamento é mínimo em todos os casos. No atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e no zoneamento proposto por Roriz (2004), a zona bioclimática 7 e o grupo climático 17 obtiveram o pior desempenho térmico para resfriamento.

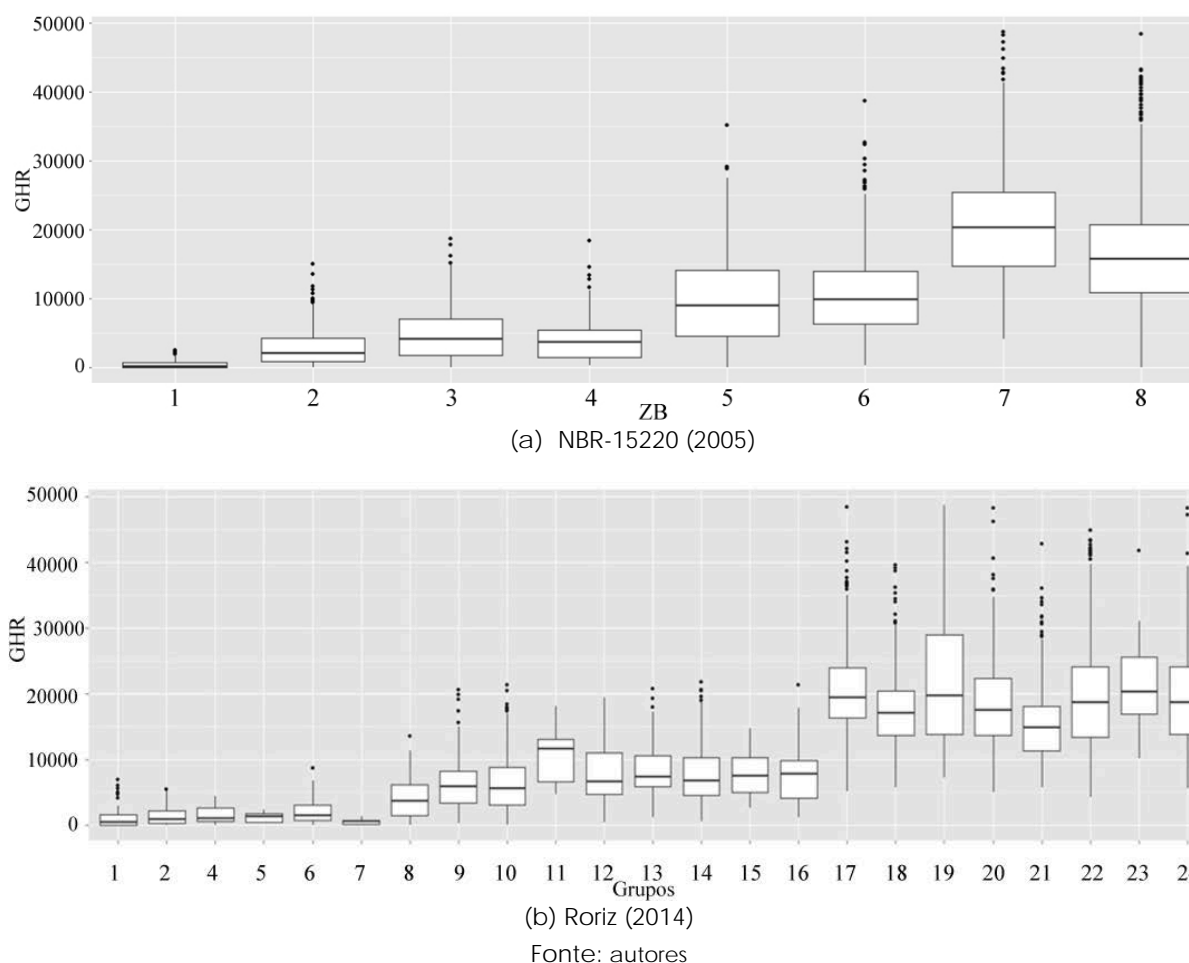
Figura 3 – Graus horas de resfriamento nos nove casos da edificação residencial.



Fonte: autores

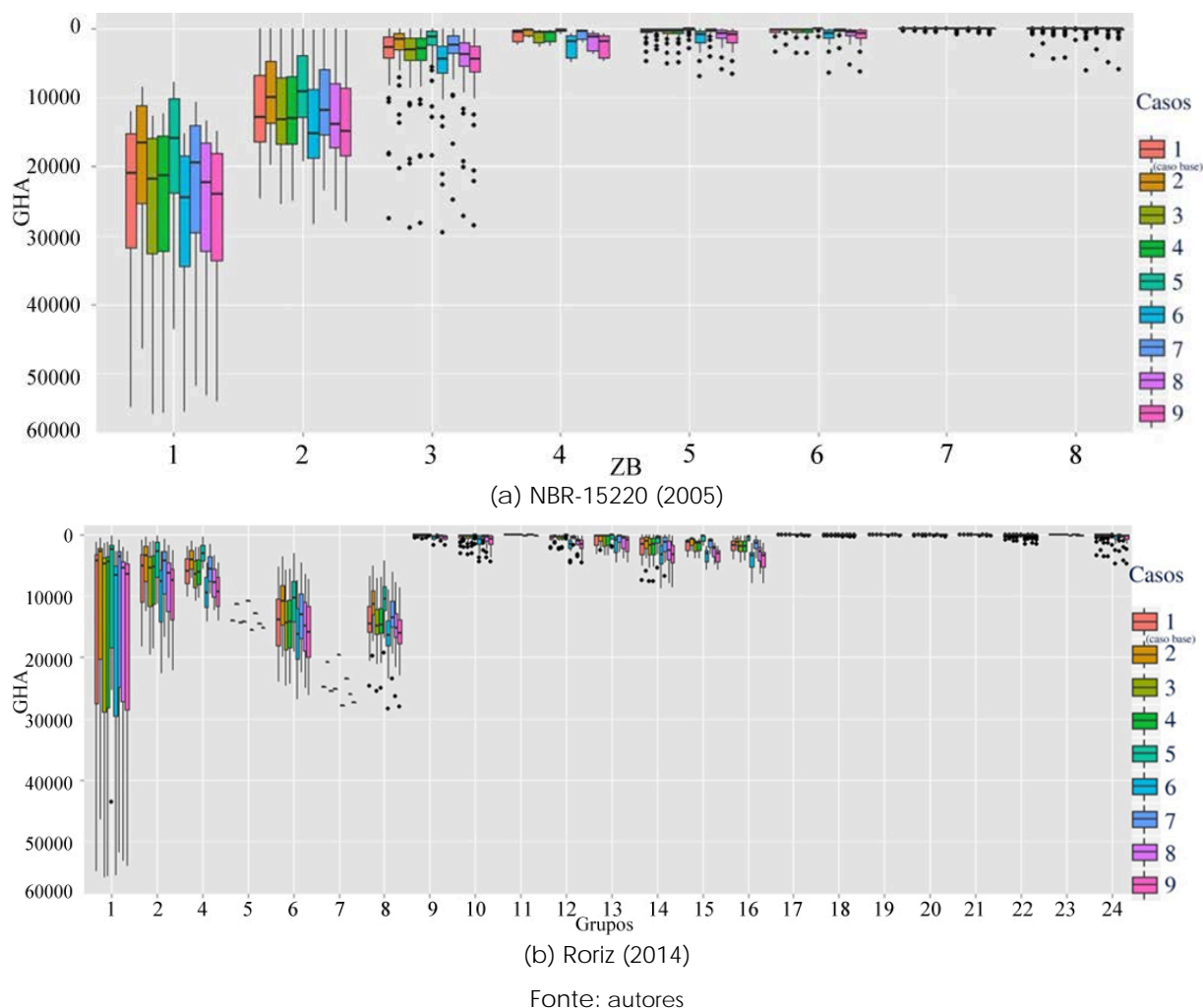
A Figura 4 apresenta os resultados do indicador de desempenho graus-hora de resfriamento da edificação residencial nos nove casos agrupados em um único diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Observa-se que no atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) as ZB2, ZB3 e ZB4 apresentam resultados semelhantes com uma mediana de 5.000 GHR. Este mesmo comportamento pode ser observado nos resultados das ZB5 e ZB6, onde apresentam uma mediana de 10.000 GHR. No zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014) observa-se que os grupos climáticos de 1 ao 7, de 8 ao 16 e nos grupos de 17 ao 24, apresentaram resultados semelhantes. Os resultados demonstram que nos dois zoneamentos analisados, algumas zonas bioclimáticas e grupos poderiam ser agrupados. Porém, ressalta-se que esta análise de agrupamento se baseia à edificação e aos casos adotados.

Figura 4 – Graus horas de resfriamento nos nove casos agrupados.



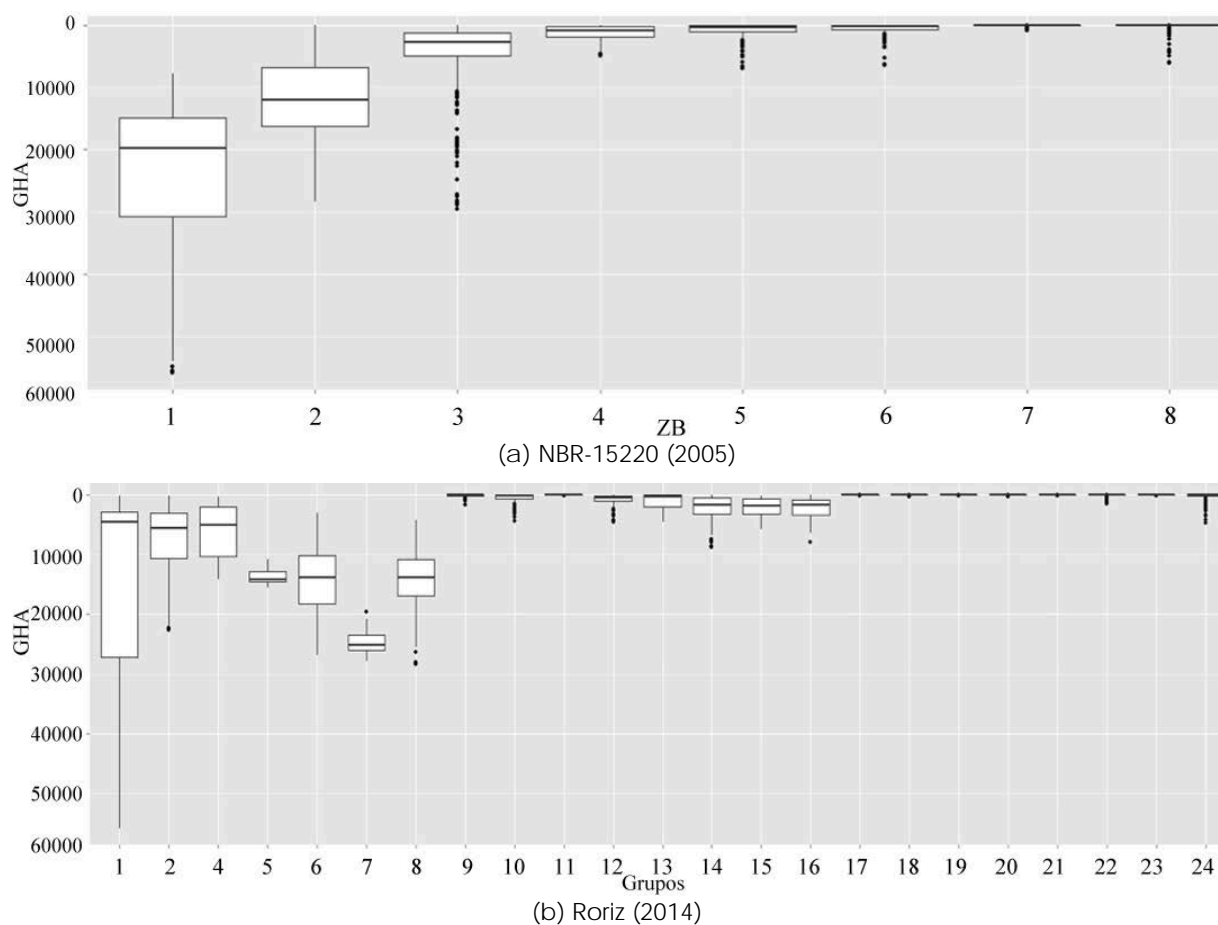
A Figura 5 apresenta os resultados de graus-horas de aquecimento da edificação nos nove casos nas diferentes zonas bioclimáticas através do diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Os resultados mostram que não existe uma diferença significativa entre as zonas bioclimáticas mais quentes nos diferentes casos avaliados. Assim, da ZB5 a ZB8, no atual zoneamento (ABNT, 2005) e os grupos climáticos de G9 ao G24, apresentam resultados semelhantes, onde os GHA são praticamente inexistentes. Analisando o desempenho térmico dos diferentes casos, percebe-se que o caso 2 (com alta absorvância nas paredes e na cobertura) e o caso 5 (sem ventilação cruzada) obtiveram o melhor resultado nos dois zoneamentos. Por outro lado, o caso 6 (com paredes leves) e o caso 9 (com paredes leves e isolamento térmico da envoltória) foram os modelos com o pior desempenho térmico por frio em todas as zonas bioclimáticas.

Figura 5– Graus horas de aquecimento nos nove casos da edificação residencial.



A Figura 6 apresenta os resultados de graus horas de aquecimento dos diferentes casos agrupados em um único diagrama de caixa, segundo o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e o zoneamento climático desenvolvido por Roriz (2014). Os resultados mostram que as zonas bioclimáticas mais quentes (ZB4 a ZB8) e os grupos climáticos quentes (de G8 ao G24) apresentaram resultados semelhantes com uma mediana inferior a 1.000 GHA, nos dois zoneamentos. No atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005), as zonas bioclimáticas mais frias (ZB1, ZB2 e ZB3) apresentaram valores de GHA diferentes entre si; enquanto que no zoneamento climático proposto por Roriz (2014) pode se observar um comportamento semelhante nos grupos climáticos frios (de G1 ao G3).

Figura 6– Graus horas de aquecimento nos nove casos agrupados.



Fonte: autores

3.2 Análise de agrupamento

Através dos resultados obtidos foi possível analisar a possibilidade de agrupamento das 411 cidades brasileiras de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005) e do zoneamento proposto por Roriz (RORIZ, 2014). Porém, ressalta-se que esta análise de agrupamento se baseia à edificação e aos casos adotados.

3.2.1 Análise de agrupamento 1- ABNT (2005)

A Tabela 3 apresenta o agrupamento, das atuais zonas bioclimáticas, obtido através dos resultados dos indicadores de desempenho para a edificação residencial naturalmente ventilada nos diferentes casos avaliados para 411 cidades brasileiras. Os valores de GHR e GHA de cada zona bioclimática representam os valores entre o primeiro e o terceiro quartil dos *box-plot* dos nove casos agrupados, apresentados anteriormente. Os dados de GHR e GHA são a média de valores das três áreas de permanência prolongada do edifício exemplo.

O agrupamento foi elaborado com base nos resultados do indicador de consumo de graus-hora de resfriamento (GHR) e de graus-hora de aquecimento (GHA).

Tabela 3 – Análise de agrupamento do atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005).

Zoneamento Bioclimático NBR 15220	GHR /ano							
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
	0-500	500-4700	2000-7000	1800-5300	4900-14000	6200-13800	14900-25200	15300-20100
Análise de agrupamento	ZQ1				ZQ2		ZQ3	
	0-6000				6000-14000		>14000	
Zoneamento Bioclimático NBR 15220	GHA /ano							
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
	30100-17500	18000-8500	5000-1000	2000-0	1000-0	700-0	0	0
Análise de agrupamento	ZF3	ZF2	ZF1					
	>18000	5000-18000	5000-0					

Fonte: autores

A Tabela 4 apresenta a análise de agrupamento de acordo com o atual zoneamento bioclimático (ABNT, 2005). Os resultados representam a escala de GHR e GHA obtida para a edificação unifamiliar nos diferentes casos analisados. A análise de agrupamento observou que as 411 cidades analisadas poderiam ser representadas em um total de 5 zonas bioclimáticas.

Tabela 4: Análise de agrupamento 1 segundo o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005).

Zonas	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
GHR/ano	0-6000	0-6000	0-6000	6000-14000	>14000
GHA/ano	>18000	18000-5000	5000-0	5000-0	5000-0

Fonte: autores

3.2.2 Análise de agrupamento 2 - Roriz (2014)

A Tabela 5 apresenta o agrupamento dos 24 grupos climáticos do zoneamento proposto por Roriz (2014), obtido através dos resultados dos indicadores de desempenho para a edificação residencial nos nove casos avaliados, para 411 cidades brasileiras. Os valores de GHR e GHA de cada grupo bioclimático representam os valores entre o primeiro e o terceiro quartil dos *box-plot* dos nove casos agrupados, apresentados anteriormente.

Tabela 5: Agrupamento das zonas climáticas– Roriz (2014).

Zoneamento Climático Roriz	GHR /ano																							
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16	Grupo 17	Grupo 18	Grupo 19	Grupo 20	Grupo 21	Grupo 22	Grupo 23	Grupo 24	
	0-1500	200-2200	500-3000	200-2000	700-3500	0-400	2000-6500	4200-8500	4000-9000	7000-13000	5000-11000	5800-10500	4900-10200	5000-10100	4800-9800	16000-24500	14000-20500	14000-28500	14100-22000	11500-17800	13800-24100	17000-25500	14000-24000	
Análise de agrupamento	ZQ1						ZQ2										ZQ3							
	0-4000						4000-14000										>14000							
Zoneamento Climático Roriz	GHA /ano																							
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16	Grupo 17	Grupo 18	Grupo 19	Grupo 20	Grupo 21	Grupo 22	Grupo 23	Grupo 24	
	27000-3000	10500-3500	10000-2800	14500-12000	18500-10000	26000-23000	17000-10500	0	500-0	0	700-0	1800-0	2500-0	2500-400	3000-700	0	0	0	0	0	0	0	0	
Análise de agrupamento	ZF4	ZF2	ZF3	ZF4	ZF3	ZF1																		
	>18000	10000-3000	18000-10000	>18000	18000-10000	3000-0																		

Fonte: autores

A Tabela 6 apresenta a análise de agrupamento 2 que também define um total de 5 zonas climáticas.

Tabela 6: Análise de agrupamento 2 segundo o zoneamento climático proposto por Roriz (2014).

Zonas	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
GHR/ano	0-4000	0-4000	0-4000	4000-14000	>14000
GHA/ano	>18000	18000-10000	10000-3000	3000-0	3000-0

Fonte: autores

As análises de agrupamento apresentados dividem o território brasileiro em um total de cinco zonas, respectivo para o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005) e o zoneamento climático proposto por Roriz (2014). Entre as duas análises, existe uma diferença na escala de valores de GHR e GHA determinada para o agrupamento estabelecido.

4 CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou uma análise de agrupamento de 411 cidades brasileiras baseado em indicadores de desempenho de edificações residenciais naturalmente ventiladas.

Com base nos nove casos analisados na pesquisa, foi possível observar um amplo quadro de soluções projetuais, apresentando diferentes resultados com base no indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento. Algumas das soluções propostas não influenciam de forma significativa os resultados dos indicadores de desempenho adotados. Os resultados mostraram que, nos diferentes casos avaliados, a edificação obteve resultados do indicador de desempenho semelhante em zonas bioclimáticas e grupos climáticos diversos.

A análise de agrupamento, baseados nos dados obtidos das simulações computacionais para 411 cidades brasileiras, redesenham o atual zoneamento bioclimático e o zoneamento proposto por Roriz. As cinco zonas climáticas finais observadas na pesquisa, para o atual zoneamento bioclimático (NBR-15220, 2005) e para o zoneamento climático proposto por Roriz (2014), conseguem acoplar zonas bioclimáticas e grupos climáticos que, como demonstraram os resultados obtidos, apresentaram resultados dos indicadores de desempenho semelhante. Assim, permite-se relacionar o indicador de desempenho graus-hora de resfriamento e aquecimento das edificações residenciais naturalmente ventiladas com as condições climáticas brasileiras. Ao mesmo tempo, o agrupamento de diferentes zonas bioclimáticas pode ser útil para definir as estratégias passivas mais adequadas de acordo com a análise de agrupamento.

Porém, ressalta-se que este estudo apresenta limitações, seja pela avaliação de somente uma tipologia de edificação residencial e pela avaliação da edificação unicamente quando naturalmente ventilada.

REFERÊNCIAS

ASHRAE Standard **90.1-2013**. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. I-P Edition, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações**: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Acesso em: 22 de setembro 2014. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>.

CAIXA. Cadernos **CAIXA Projeto padrão** – casas populares | 42m². 2007. Acesso em: 05 abr. 2013. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/download/>.

CHINA. **Climate e Territory**. Pequim, 2014. Disponível em: < <http://www1.chinaculture.org/library>>. Acesso em: 15 de setembro 2014.

D.O.E.- U.S. **Department of Energy**. Disponível em: <http://www.energy.gov/>. Acesso em: 25 de outubro 2014.

DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN PLANNING. Disponível em: www.minvu.cl. Acesso em: 15 de setembro 2014.

ENERGYPLUS - D.O.E.- U.S. **Department of Energy**. Whole Building Simulation Program, 2013. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 21 de outubro 2014.

GREENHOUSE OFFICE. Feasibility Study – **A National Approach to Energy Efficiency Measures For Houses**. 2000. Disponível em: <www.greenhouse.gov.au/energyefficiency/buildings>. Acesso em: 15 maio de 2014.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, vol.18, Amsterdam, 1992.

ITÁLIA. **Dpr 26 agosto 1993 n.412** (Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10). Disponível em: http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie_generale/originario. Acesso em: 18 de setembro de 2014.

LAM, J. C; YANG, L.; LUI, J. Development of passive design zones in China using bioclimatic Approach. **Energy Conversion and Management**, v.47, p. 746-762. 2006.

MARTINS, T.A.L.; BITTENCOURT, S.L.; KRAUSE, C.M.L.B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Revista Ambiente Construído**. V. 12, n. 2, p. 59-75. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012.

MAZUMDAR, M. Energy-Efficient Buildings in India, **TERI**, New Delhi, India, 2002.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil – versão 3.0. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014.

RORIZ, M. Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012b.

RORIZ, M. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. **ANTAC**: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012a.

Turkish Standards-**TS 825**: Rules of Heat Insulation in Building, 1998.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. **Energy and Buildings**. V.39, p. 306- 316. Elsevier, 2007.

VERSAGE, R. Ventilação natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS. **Dissertação de Mestrado** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2009.

ZÁRATE, L. E.; GONÇALVES, W. B.; ASSIS, E.S.; DIAS, S.M. Estimativa de Dados Climáticos Utilizando Redes Neurais Artificiais Para Fins de Zoneamento Bioclimático

do Estado de Minas Gerais. ENTAC- Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 12., Fortaleza, 2008. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFCE, 2008. 10 p.