

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA UM ZONEAMENTO CLIMÁTICO BRASILEIRO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES

Tiago A. Longo (1); EneDir Ghisi (2)

(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
tiago-arent@hotmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeec.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

O Clima pode ser definido como a integração ao longo do tempo, dos estados físicos do ambiente atmosférico. Sendo composto por um conjunto de variáveis que caracterizam uma determinada região ao longo de um período. A intensidade com que essas variáveis atuam nas diferentes regiões do globo terrestre proporciona uma grande variedade de climas. Sendo assim, é de elevada importância para a construção civil ter conhecimento do clima local, para que assim se possa aproveitar as potencialidades energéticas naturais oferecidas pela região, através de um projeto adequado. Este trabalho apresenta uma proposta de zoneamento climático para edificações climatizadas artificialmente. Para isso foram utilizados arquivos no formato EPW de 411 municípios brasileiros. Utilizando o software EnergyPlus obteve-se como dado de saída o consumo relativo para aquecimento (CH) e o consumo relativo para resfriamento (CC), dados em (kWh/m²). Posteriormente, estes dados foram agrupados em uma planilha e importados para o software R, onde foram realizadas análises de agrupamento, para que se pudesse gerar zonas climáticas homogêneas, a partir desses arquivos. A edificação adotada nas simulações é do tipo unifamiliar e representa um modelo amplamente utilizado como habitação de interesse popular. Após as análises de agrupamento, obteve-se nove agrupamentos de dados. Dessa forma, utilizando este método é possível estabelecer para o Brasil nove zonas climáticas para edificações condicionadas artificialmente.

Palavras-chave: zoneamento climático, simulação computacional, análise de agrupamento.

ABSTRACT

The climate may be defined as the integration over time of the physical states of the atmospheric environment. It is composed of a set of variables that characterize a particular region over a period. The intensity with which these variables operate in different regions of the earth provides a wide range of climates. Therefore, it is of high importance that the civil construction recognizes the local climate, so that it may benefit of the natural energy potential offered by the region, through an appropriate project. This study presents a proposal of climatic zoning for artificially conditioned buildings. For that, it was used files in EPW format of 411 brazilian cities. The EnergyPlus software was used to obtain the relative consumption for heating (CH) and the relative consumption for cooling (CC) as output data, in kWh/m². Subsequently, these data were grouped into a spreadsheet and imported to the R software, which performed the cluster analysis, so that it could be generated homogeneous climatic zones, from these files. The building adopted in the simulations is the single-family type and represents a model widely used as housing of popular interest. After the cluster analysis, it was obtained nine groups of data. This way, by using this method, it is possible to establish nine climatic zones for artificially conditioned buildings in Brazil.

Keywords: climatic zoning, computer simulation, cluster analysis.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade foi, ao longo do tempo, alicerçado em poucos cuidados em relação ao meio ambiente. As consequências disso estão sendo observadas atualmente com o aumento das temperaturas ambientais, elevação dos níveis de gases tóxicos na atmosfera, destruição da camada de ozônio, entre outras.

De acordo com Pérez-Lombard, Ortiz e Pout (2008), as edificações nos países desenvolvidos, representadas pelos setores residencial e comercial, consomem de 20% a 40% de toda a energia. Os autores ainda acrescentam que em 2004, o setor da construção civil foi responsável por 37% do uso final de energia na União Europeia, enquanto que o Reino Unido apresentou um consumo de 39% do uso final de energia. Lippiat (2007) afirma que 40% das emissões de gases de efeito estufa no planeta são de responsabilidade das edificações. Segundo o Balanço Energético Nacional (2013), as edificações (setor residencial e comercial) consumiram 13,9% de toda a energia utilizada no Brasil em 2012.

De acordo com Martins et al. (2012) o cenário político e energético atual exige medidas construtivas que estejam adequadas às condições climáticas dos locais onde estão inseridas as edificações. Seguir essa premissa desde a fase de projeto possibilita a obtenção de edificações mais eficientes e confortáveis. Navarro (2007) acrescenta que o clima pode ter influência significativa sobre o desempenho da edificação, dessa forma devem ser tomadas medidas para que exista uma adequação correta da edificação em relação às condições climáticas locais.

Com base nisso, Evans (2004) afirma que o zoneamento bioclimático, visto sob a perspectiva do conforto e da arquitetura, possibilita a identificação de áreas geográficas com condições semelhantes, de modo que a correta utilização de estratégias bioclimáticas pode promover a redução da demanda de energia. Por essas razões citadas anteriormente, diversos pesquisadores têm dedicado tempo ao estudo do zoneamento bioclimático (SILVA, 1994; RORIZ et al., 2001; GONÇALVES et al., 2003; EVANS, 2004; MORILLÓN-GÁVEZ et al., 2004; LAU et al., 2007; NAVARRO, 2007; SOUZA et al., 2010; MARTINS et al., 2012).

De acordo com Silva (1994), os zoneamentos bioclimáticos estabelecem orientações construtivas para as edificações, para que as necessidades de conforto e consumo de energia sejam satisfeitas de forma adequada. O autor ainda afirma que existem muitos métodos para se elaborar um zoneamento bioclimático, e isso pode variar conforme os objetivos e dados climáticos que se possui. Há tendência em estabelecer características bioclimáticas para regiões com similaridades no clima já é adotada por muitos países. Na América do Sul, Chile, Argentina e Brasil já criaram um zoneamento bioclimático para os seus territórios (NAVARRO, 2007). Embora muitos países já tenham desenvolvido o zoneamento bioclimático, muitos desses ainda necessitam de aperfeiçoamento, devido ao grande volume de dados e variáveis envolvidas.

De acordo com Roriz (2012), no Brasil, a criação do zoneamento bioclimático teve início em meados de 1991, quando foi realizado o "I Encontro Nacional sobre Normalização em Uso Racional de Energia e Conforto Ambiental em Edificações" em Florianópolis. O mesmo autor ainda acrescenta que naquele evento surgiu a formação de um grupo de pesquisadores, que trabalhou por um longo período no desenvolvimento de um projeto de norma. Martins et al. (2012) afirmam que o primeiro zoneamento bioclimático para o território brasileiro foi apresentado em 2003, sendo um segmento da NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Para Roriz (2012), a NBR 15220 tem servido de grande utilidade para que as construções de interesse social no país apresentem melhores condições de desempenho térmico. No entanto, o autor acredita que após quase uma década, faz-se necessária uma revisão do método utilizado em sua elaboração, de tal modo que questione alguns pontos, os quais são citados abaixo:

1. Na elaboração do zoneamento, os pesquisadores consideraram unicamente as Normas Climatológicas de aproximadamente 300 municípios, sendo os dados climáticos do restante do território obtidos por interpolação, desse modo o método gerou um alto nível de incerteza ao mapa final;

2. Apesar de atualmente o zoneamento bioclimático ser aplicado para qualquer tipo de edificação, inicialmente ele foi idealizado para atender apenas as Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Dessa forma, pode-se concluir que este é um dos principais motivos geradores das incertezas em relação à adequação climática de edificações residenciais;

3. Através dos critérios baseados na Carta Bioclimática de Givoni e nas Planilhas de Mahoney, pode-se obter os limites geográficos de cada zona. As estratégias bioclimáticas foram estabelecidas para cada ponto do mapa de acordo com estes critérios e em seguida foram agrupados em uma mesma zona. O procedimento adotado gerou um número de zonas que não condiz com a realidade climática encontrada no Brasil;

4. O zoneamento bioclimático brasileiro sempre foi muito criticado desde a implementação da NBR 15220. Parte das críticas está relacionada à imprecisão no modo como as cidades brasileiras são caracterizadas."

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo utilizar simulação computacional com o software EnergyPlys e análise estatística de agrupamento, para gerar agrupamentos de cidades brasileiras com arquivos EPW. Estes agrupamentos serão utilizados em trabalhos futuros para elaborar um mapa climático para edificações climatizadas artificialmente.

3. MÉTODO

O método deste trabalho é composto por simulação computacional com o programa EnergyPlus versão 8.1.0 e em análise de agrupamento com o programa R versão R-3.0-1. Este estudo foi realizado considerando os arquivos climáticos no formato EPW de 411 municípios brasileiros.

3.1. Simulações computacionais

Na primeira parte do estudo foi simulada uma edificação residencial unifamiliar condicionada artificialmente, com diferentes variações de envoltória e utilizando todos os 411 arquivos EPW.

3.1.1. Caso base

O caso base utilizado nesse estudo foi baseado em Caixa (2007). A edificação possui 36,00 m² e um pé direito de 2,80 m. É composta por dois dormitórios, um banheiro e uma cozinha com sala de estar conjugada. O caso base possui apenas um pavimento e não está em contato com o solo. Na Figura 1 é apresentada a planta baixa do caso base e na Figura 2 é apresentada a perspectiva do caso base. Esse modelo é o mesmo utilizado para propor as diretrizes construtivas na nova proposta de zoneamento bioclimático de Roriz (2012).

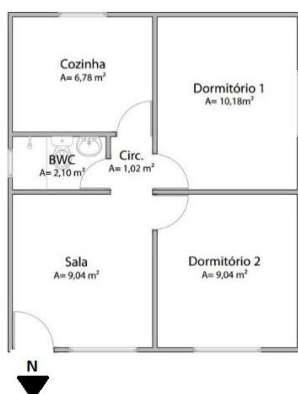


Figura 1 – Planta baixa do caso base



Figura 2 – Perspectiva do caso base

O caso base é composto por paredes de tijolos com seis furos quadrados, assentados na menor dimensão. A espessura da argamassa de assentamento é de 1,0 cm e a argamassa de emboço é de 2,5 cm. A cobertura é do tipo duas águas, composta de telha cerâmica e forro de PVC. As janelas são de alumínio e vidro, com duas folhas de correr, com venezianas. Na Tabela 1 são apresentadas as características físicas e térmicas do caso base.

Tabela 1 – Características físicas e térmicas do caso base

Tipo	Composição	U [W/(m²K)]	C _t [kJ/(m²K)]	α
	Argamassa emboço interna (2,5 cm)	2,48	159	0,30
	Tijolo cerâmico (9,0x 14,0x 19,0cm)			
	Argamassa emboço externa (2,5 cm)			
	Forro Madeira (1,0 cm)	2,00	32	0,35
	Câmara de ar (> 5 cm)			
	Telha cerâmica			
	Esquadria em alumínio	5,70	---	0,30
	Vidro simples incolor (3 mm)			
	Sem elementos de sombreamento			

3.1.2. Modelos simulados

Foram avaliadas nove diferentes configurações de envoltória para o caso base. Nessas variações foram adotados diferentes valores de transmitância térmica e capacidade térmica para os elementos de vedação. Foram também utilizados diferentes valores de absorvância e configurações de uso de isolamento, conforme Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Propriedades físicas e térmicas das paredes e pisos dos modelos simulados

Modelo	Parede					Piso		
	Tipo	Isolamento	U W/(m ² K)]	C _t [kJ/(m ² K)]	α	Tipo	Isolamento	U W/(m ² K)]
1	Tijolos cerâmicos furados	Sim	2,46	150	0,30	Laje maciça 10 cm / adiabático	Sim	3,75
2	Tijolos cerâmicos maciços	Não	2,44	320	0,45	Laje maciça 10 cm / adiabático	Não	3,75
3	Dois camadas tijolos cerâmicos	Sim	0,98	368	0,70	Laje maciça 10 cm / adiabático	Sim	3,75
4	Tijolos cerâmicos furados	Não	2,46	150	0,45	Laje maciça 10 cm / adiabático	Não	3,75
5	Tijolos cerâmicos maciços	Não	2,44	320	0,70	Laje maciça 10 cm / adiabático	Sim	3,75
6	Dois camadas tijolos cerâmicos	Sim	0,98	368	0,30	Laje maciça 10 cm / adiabático	Não	3,75
7	Tijolos cerâmicos furados	Sim	2,46	150	0,70	Laje maciça 10 cm / adiabático	Sim	3,75
8	Tijolos cerâmicos maciços	Não	2,44	320	0,30	Laje maciça 10 cm / adiabático	Não	3,75
9	Dois camadas tijolos cerâmicos	Sim	0,98	368	0,45	Laje maciça 10 cm / adiabático	Sim	3,75

Tabela 3 – Propriedades físicas e térmicas das coberturas dos modelos simulados

Modelo	Cobertura				
	Tipo	Isolamento	U W/(m ² K)]	C _t [kJ/(m ² K)]	α
1	Telha cerâmica / lâmina de alumínio e laje de concreto 25cm	Não	1,03	568	0,35
2	Telha cerâmica / laje	Sim	1,92	113	0,70
3	Telha cerâmica / Forro Madeira	Não	2,00	32	0,35
4	Telha cerâmica / laje	Sim	1,92	113	0,70
5	Telha cerâmica / Forro Madeira	Não	2,00	32	0,35
6	Telha cerâmica / lâmina de alumínio e laje de concreto 25cm	Não	1,03	568	0,70
7	Telha cerâmica / Forro Madeira	Não	2,00	32	0,35
8	Telha cerâmica / com 5,0 cm de lã de vidro sobre forro de madeira	Sim	0,62	34	0,70
9	Telha cerâmica / Forro Madeira	Não	2,00	32	0,35

As nove configurações utilizadas são combinações dessas variáveis, porém não refletem todas as combinações possíveis. Dessa forma, será possível analisar o desempenho térmico de uma edificação

condicionada artificialmente para diferentes soluções construtivas. Em todos os modelos considera-se a fachada principal voltada para o norte e ar condicionado apenas em um dormitório, localizado na fachada norte, pois assim pode-se caracterizar os modelos mais adequadamente em relação à realidade das habitações brasileiras.

3.1.3. Padrões de ocupação

O padrão de ocupação é o mesmo para todos os modelos. É representado por uma família de cinco pessoas, sendo um casal e três filhos. O padrão de ocupação é diferente para dias de semana e fins de semana, sendo representados pelas Figuras 3 e 4. Foram definidas as taxas metabólicas para as atividades desenvolvidas nos ambientes, adotando 1,80 m² de área de pele. Na Tabela 4 são apresentados estes valores.

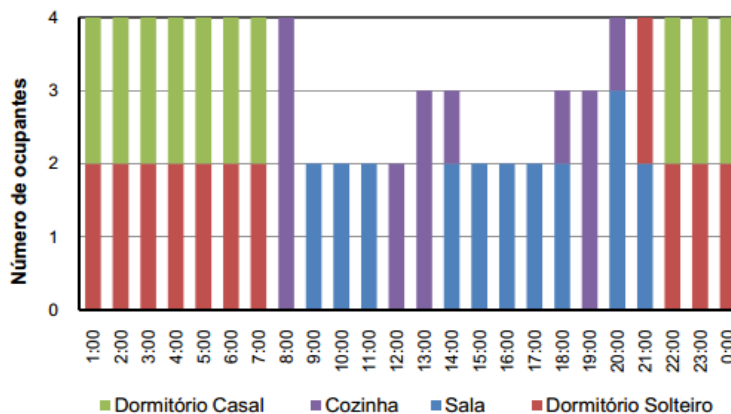


Figura 3 - Padrão de ocupação do caso base para os finais de semana

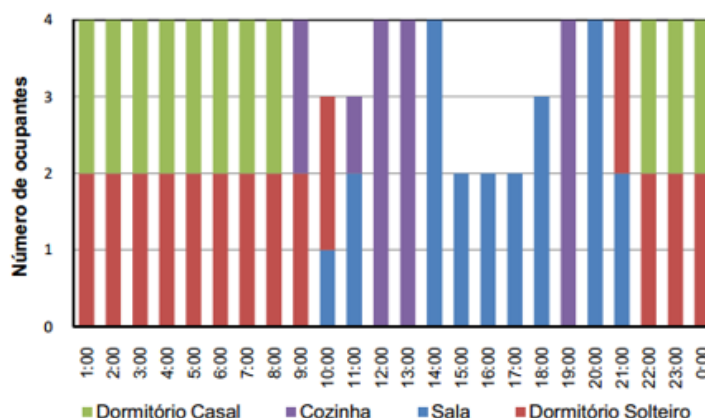


Figura 4 - Padrão de ocupação do caso base para os finais de semana

Tabela 4 – Taxa metabólica por ambiente

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido [W/m ²]	Calor produzido para área de pele = 1,80 m ² [W]
Cozinha	Preparação de refeições	95	171
Sala	Sentado ou Assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou Descansando	45	81

Fonte: ASHRAE, 2005

3.1.4. Cargas térmicas de iluminação e equipamentos

As cargas internas foram definidas de acordo com os padrões de ocupação estabelecidos nas Figuras 2 e 3. Adotou-se uma utilização de 100% dos equipamentos para o padrão de ocupação anteriormente descrito. As lâmpadas são todas do tipo fluorescente compacta e com uma potência de 25 W. A potência total instalada em equipamentos para cada cômodo é baseada em dados de Tavares (2006). Os dados descritos na Tabela 5 são um resumo das cargas utilizadas em edificações semelhantes à adotada neste estudo. Neste trabalho serão utilizadas duas alternativas de cargas instaladas, para que assim se possa verificar a influência no consumo de energia em edificações climatizadas artificialmente.

Tabela 5 - Carga de iluminação e de equipamentos nas zonas térmicas

Cômodo	Iluminação (W)		Equipamentos (W)		Ar Condicionado
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 2	
Dormitório 1	15	25	70	250	Sim
Dormitório 2	15	25	70	250	Não
Cozinha	15	25	180	400	Não
Sala	15	25	100	200	Não
Banheiro	15	25	3500	3500	Não

3.1.5. Dados de saída

Para avaliar os modelos propostos, serão utilizadas as variáveis de consumo relativo para aquecimento (C_A) e consumo relativo para resfriamento (C_R), dadas em (kWh/m²). O período de funcionamento dos equipamentos de climatização será entre 21h00 e 8h00 para todos os dias do ano. O período de utilização e o fato do sistema de climatização ser utilizado todos os dias do ano são justificados pelos hábitos de consumo dos brasileiros. A princípio, a temperatura de manutenção para resfriamento será de 24°C e para aquecimento de 22°C.

3.2. Análise de agrupamento

Nesta etapa, o objetivo é identificar grupos que possuam características semelhantes entre si, em relação aos resultados de consumo relativo. Os dados de saída obtidos nas simulações dos modelos propostos na etapa anterior serão utilizados para elaborar as zonas climáticas. Estas zonas serão estabelecidas através de análises de agrupamento realizadas com o programa R. Este programa foi desenvolvido pelo departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia.

Em relação ao método utilizado para gerar os agrupamentos, optou-se por utilizar, em conjunto, os métodos hierárquico e não hierárquico. Desse modo, é possível identificar a quantidade de agrupamentos mais adequada e gerar uma formação final de agrupamentos mais precisa.

Primeiramente verifica-se a existência de objetos atípicos no conjunto de dados. Este procedimento é realizado anteriormente ao processo de formação dos agrupamentos. Objetos atípicos são aqueles significativamente diferentes da amostra total, considerando todo o conjunto de dados. Esta identificação é importante para dar confiabilidade aos resultados das análises.

Foram considerados atípicos os objetos cuja probabilidade associada ao D^2 foi menor que 0,001. Para isto, utilizou-se a Equação 1.

$$D^2_{nm} = [(x_n - x_m)C^{-1}(x_n - x_m)^T]^{0,5} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

D^2_{nm} é a medida de Mahalanobis;

C^{-1} é a matriz de covariâncias;

x_n é o valor de n para cada variável;

x_m é o valor de m para cada variável.

Com a utilização do procedimento hierárquico foi possível obter um conjunto preliminar de agrupamentos, enquanto o procedimento não hierárquico forneceu a formação ideal de agrupamentos.

3.2.1. Procedimento hierárquico

Primeiramente define-se uma medida de similaridade. Foi utilizada a distância euclidiana quadrada, que é definida pela soma dos quadrados das diferenças entre cada variável, de todos os pares de objetos. Essa medida permite identificar os níveis de similaridade (BUSSAB et al., 1990). Obtém-se esta medida para cada par de objetos, e a partir destes, é gerada outra matriz de dados, denominada de matriz de similaridade. Utilizou-se a Equação 2 para se obter as distâncias entre os objetos utilizando a distância euclidiana quadrada.

$$d_{AB} = \sum_{i=1}^p (x_{iA} - x_{iB})^2 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- d_{AB} é a distância euclidiana quadrada do objeto A ao objeto B;
- X_{iA} é o valor de A para cada variável;
- X_{iB} é o valor de B para cada variável.

Na Figura 5 é apresentada a construção de uma matriz de similaridade a partir de uma matriz de dados, utilizando a distância euclidiana quadrada. Aplicando-se a distância euclidiana quadrada a cada par de objetos, obtém-se a matriz de similaridade. Dessa forma, a distância entre os objetos 1 e 2 é dada pela distância d_{12} .

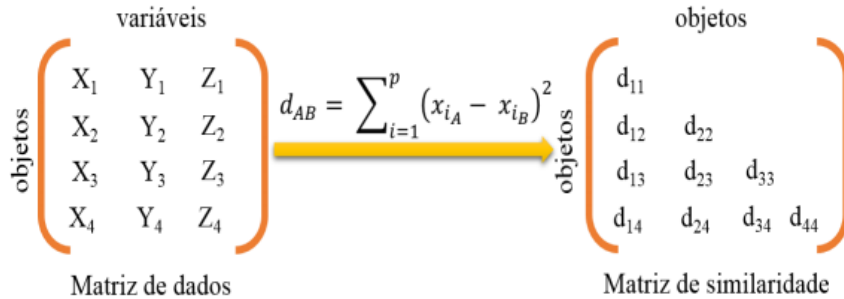


Figura 5 – Construção da matriz de similaridade com a distância euclidiana quadrada (ROSA, 2014)

Como algoritmo de partição, utilizou-se o Método de Ward, sendo este um conjunto de regras que delimita quais pares de agrupamentos são combinados em cada etapa. Neste método considera-se a combinação que minimiza o aumento residual dos quadrados ao longo das variáveis, em todos os agrupamentos (MINGOTI, 2007). Após ser definido o algoritmo de partição e a matriz de similaridade foi realizado o procedimento hierárquico.

Os pares de objetos foram combinados levando-se em conta o valor de distância obtido com as regras de partição do algoritmo e a medida de similaridade especificada. Para cada etapa, dois agrupamentos distintos são gerados para formar um novo agrupamento. O valor da distância em que cada agrupamento foi formado demonstra o nível de similaridade entre os valores. Na Figura 6 é demonstrado este processo.

As regras de partição do algoritmo e a medida de similaridade são definidas automaticamente pelo programa.

etapa	formação dos agrupamentos	nível de similaridade
0	A B C D E	-
1	A B C D E	d_{AB}
2	AB C D E	d_{DE}
3	AB C DE	d_{CDE}
4	AB CDE	d_{ABCDE}

Figura 6 – Formação dos agrupamentos pelo processo hierárquico (ROSA, 2014)

Além disso, foram estabelecidos os coeficientes de aglomeração para cada combinação, sendo uma medida de heterogeneidade do novo agrupamento. Esta medida é pequena nos estágios iniciais e vai aumentando conforme os diferentes agrupamentos são combinados. Sendo assim, o número de agrupamentos é determinado pela etapa anterior, onde a combinação dos agrupamentos determinou um aumento percentual do coeficiente de aglomeração muito maior que as etapas anteriores.

3.2.2. Procedimento não hierárquico

Após ser definida a quantidade ideal de agrupamentos, foi aplicado o procedimento não hierárquico para a obtenção da solução final. Nesta etapa os objetos foram distribuídos simultaneamente nos agrupamentos, de acordo com a sua proximidade aos pontos sementes (pontos por onde se inicia o processo de agrupamento). Estes pontos são chamados de centroide e representam o centro de cada grupo, e vão sendo modificados conforme novos objetos são agrupados.

Utilizando-se o método de amostragem (seleção aleatória) foram definidos os pontos sementes, utilizando o programa R. Foi adotado o algoritmo de otimização para particionar a amostra, sendo que este algoritmo efetua interações consecutivas entre os objetos de cada grupo de valores até que se obtenha o menor grau de heterogeneidade possível. Ao final, foram apresentados os agrupamentos estabelecidos.

4. RESULTADOS

A partir dos dados de consumo relativo de aquecimento e resfriamento obtidos nas simulações computacionais e agrupados através do programa R, foi possível estabelecer nove agrupamentos para edificações climatizadas artificialmente.

Cada modelo utilizado nas simulações é representado por um conjunto de variáveis que quando simulados com um arquivo climático EPW geram um ponto no gráfico. Com isso, se obtém um total de 3699 pontos distribuídos em nove agrupamentos.

Os agrupamentos gerados possuem alta homogeneidade entre si. Sendo assim, os modelos que estiverem dentro de um mesmo agrupamento apresentarão resultados de consumo de energia semelhantes, quando simulados no programa EnergyPlus.

Na Figura 7 é demonstrada a variação do consumo relativo de resfriamento que os nove modelos construtivos obtiveram para os 411 arquivos climáticos simulados. Estes valores foram agrupados e geraram 9 agrupamentos (zonas climáticas). Dessa forma, todos modelos aparecem nos nove agrupamentos, sendo que a variação de consumo relativo identificada no gráfico é devida aos dados climáticos dos arquivos EPW utilizados para simular cada modelo no EnergyPlus.

Percebe-se que o modelo 3 utilizado nas simulações é o que apresenta os melhores resultados. Pode-se verificar ainda que a variação de (KW/m².ano) para as zonas 7, 8 e 9 é maior do que as demais, e isto pode estar relacionado às configurações construtivas destes modelos. Os valores menores obtidos nos agrupamentos 1 e 2 refletem a influência dos dados climáticos contidos nos arquivos EPW. Sendo assim, pode-se dizer que estes agrupamentos estão representados pelas cidades de climas mais amenos.

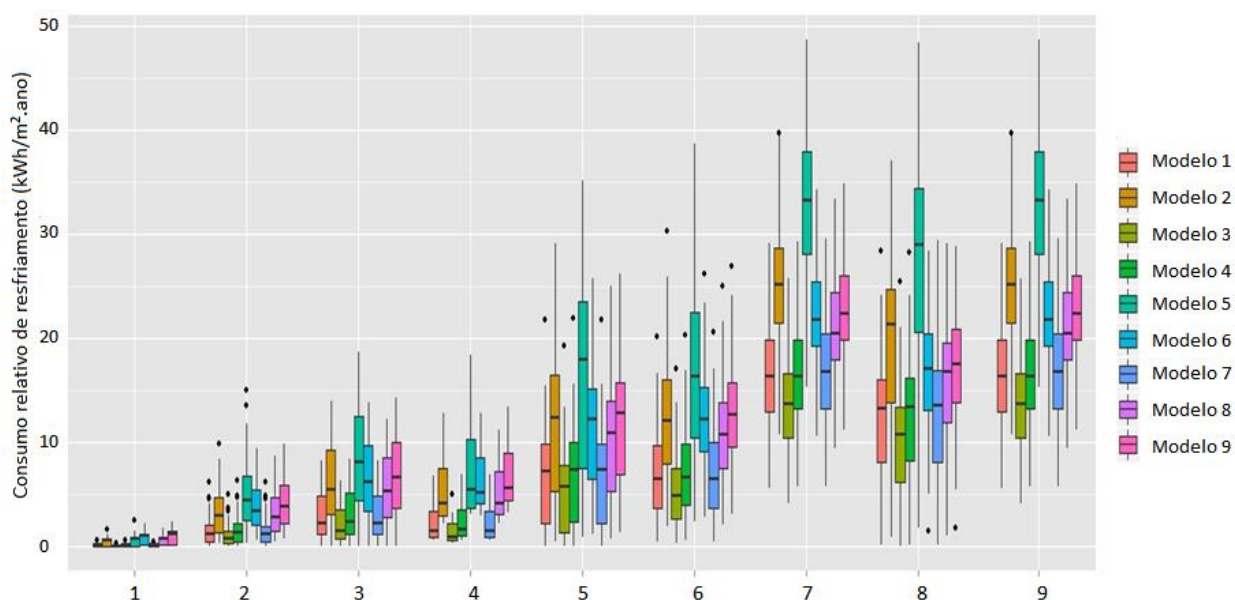


Figura 7 – Agrupamentos para o consumo relativo de resfriamento

Na Figura 8 é demonstrada a variação do consumo relativo de aquecimento que os nove modelos construtivos obtiveram para os 411 arquivos climáticos simulados. Estes valores foram agrupados e geraram 9 agrupamentos (zonas climáticas). Percebe-se que o modelo 5 utilizado nas simulações é o que apresenta os melhores resultados.

Para este gráfico a variação também foi maior nas zonas 7, 8 e 9, porém, diferentemente do agrupamento gerado para resfriamento, no agrupamento gerado para aquecimento houve maior variação nas zonas 1, 2 e 3 e 4. Sendo assim, pode-se notar que em relação aos agrupamentos gerados para aquecimento, os modelos construtivos exercem maior influência, dessa forma é necessário que sejam simulados modelos com outras configurações para uma análise mais adequada. Na Figura 8 identifica-se que as zonas 7 e 9 são as que apresentam os maiores consumos relativos de aquecimento.

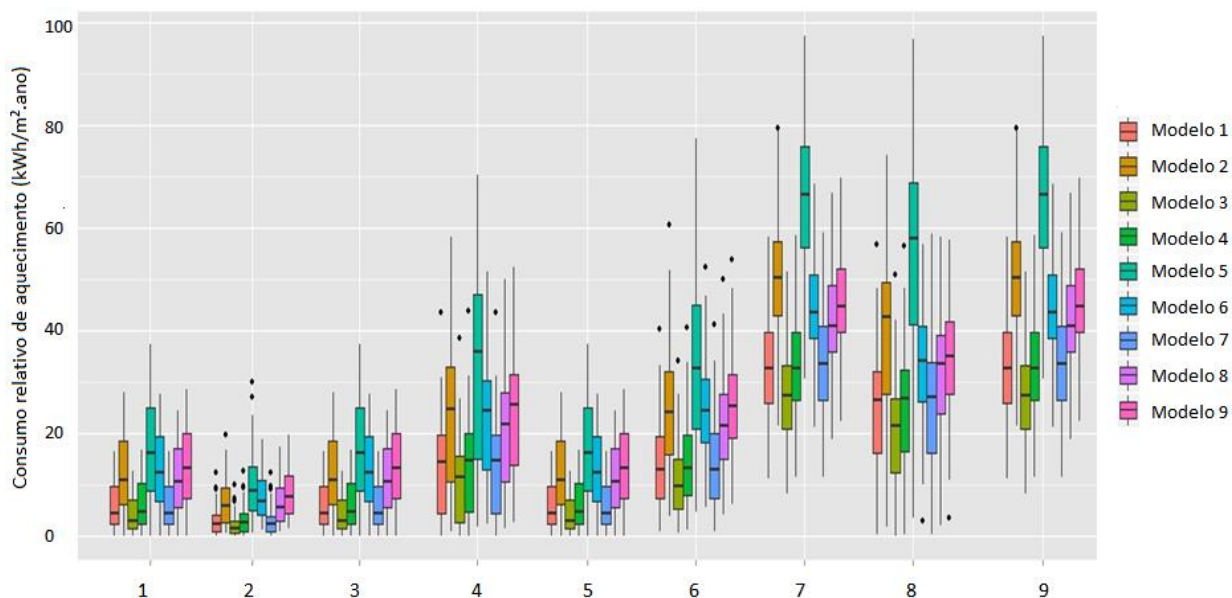


Figura 8 – Agrupamentos para o consumo relativo de aquecimento

A quantidade de agrupamentos gerados nesse estudo possibilita a criação adequada de um zoneamento climático para edificações climatizadas artificialmente, pois o número de agrupamentos se aproxima do número de zonas do atual zoneamento bioclimático brasileiro.

O zoneamento climático proveniente deste estudo será utilizado apenas para edificações climatizadas artificialmente, desta forma, difere-se do atual zoneamento brasileiro, que é utilizado para edificações naturalmente ventiladas. Os dois zoneamentos juntos poderão ser complementares um ao outro, de modo que irão solucionar situações de conforto térmico em edificações ventiladas naturalmente e em edificações climatizadas artificialmente.

Este estudo tem como objetivo apresentar agrupamentos obtidos através de simulação computacional de nove modelos construtivos, utilizando arquivos EPW de 411 cidades brasileiras e análise estatística de agrupamento. Em trabalhos futuros estes dados serão plotados no mapa do Brasil, sendo assim será estabelecido um zoneamento climático para edificações artificialmente climatizadas e será realizada uma comparação com o atual zoneamento brasileiro.

5. CONCLUSÕES

A partir das simulações computacionais foi possível gerar uma base de dados de consumo de energia de aquecimento e resfriamento para diversos modelos de edificações. Com os resultados de consumo de energia relativo para resfriamento e aquecimento foram gerados nove agrupamentos.

Os modelos utilizados nas simulações computacionais possuíam diversos parâmetros diferentes, de tal forma que não é possível identificar quais interferem mais no consumo de energia. No entanto, é possível afirmar que as cidades com as temperaturas mais altas ao longo do ano estão contidas nos agrupamentos iniciais (1, 2 e 3), quando se analisa a carga de resfriamento. Foi possível identificar que as cidades com temperaturas mais baixas ao longo do ano, pertencem aos agrupamentos (1, 2 e 3) quando se analisa a carga de aquecimento.

A utilização da combinação de método hierárquico e não hierárquico para a geração dos agrupamentos, foi fundamental para se obter um número de agrupamentos que se possa aplicar na prática. Sendo que a utilização de apenas um dos métodos iria gerar um número muito grande de agrupamentos e dessa forma não seria possível estabelecer diretrizes construtivas para cada agrupamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BEN - **Balanco Energético Nacional**. Relatório final 2013. Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE. 2013
- BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à análise de agrupamentos**. IX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. **São Paulo, SP**: 1990
- EVANS, J. Zonificación Bioclimática en Latinoamérica para una Arquitectura Sustentable. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. Buenos Aires, v. 8, n. 1, p. 163-168, 2004.
- GONÇALVES, W. B.; RIBEIRO, M. A.; ASSIS, E. S.; ZAMORANO, L. G.; TORRES, I. A.; BUONICONTRO, L. S.; DINIZ, A. S. A. C.; Estudo de Zoneamento Bioclimático Para o Estado de Minas Gerais com Base nas Tabelas de Mahoney - Considerações Sobre a Metodologia e Resultados Preliminares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTONO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003, Curitiba, **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003. p. 241-248.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- LAU, C. C.; S.; LAM, J. C.; YANG, L. Climate classification and passive solar design implications in China. **Energy Conversion e Management**. v. 48, v.1, p. 2006-2015, 2007.
- LIPPIATT, B. BEES 1.0 – **Building for environmental and Economic Sustainability** – Technical Manual and User Guide. Gaithersborough: NIST 2007.
- MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. L. B. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: Reflexões Sobre o Semiárido Nordeste. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.12, n.2, p. 59-75, abr./jun. 2012.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. Da UFMG, 2005.
- MORILLÓN-GÁLVEZ, D.; SALDÑA-FLORES, R.; TEJEDA-MARTÍNEZ, A. Human Bioclimatic atlas for Mexico. **Solar Energy**, v. 76, n.1, p. 781-792, 2004
- NAVARRO, F. E. **Arquitetura e clima na Bolívia: uma proposta de zoneamento bioclimático**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., GONZÁLEZ, R. e MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v.41, p.272-278. 2008.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Um zoneamento bioclimático para a arquitetura no Brasil**. In: II Jornada Sobre Clima e Aplicações na CPLP, Alagoas, 2001
- RORIZ, M. (2012). **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, disponível em:
- ROSA, Aline Schaefer da. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento**. 2014. 197 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014
- SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- SOUZA, A.; PAVÃO, H. G.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; CAVAZZANA, G. H.; FILHO, A. C. P. Modelo de Thom para o Zoneamento bioclimático de Mato Grosso do Sul. **Revista de Geografia Norte Grande**, Chile, v.46, p. 137-147, 2010
- TAVARES, S. F. **Metodologia para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. (Doutorado em Engenharia de civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- <www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico>