CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DAS CIDADES BRASILEIRAS EM GRAUS-DIA DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

C. C. Ferreira, I. P. Stensjö, R. M. Loura,

RESUMO

Graus-dia são usualmente utilizados no mundo para estimar o consumo de energia devido ao aquecimento e/ou resfriamento em edificações. Contudo, no Brasil, não há norma técnica que estabeleça um método de cálculo e/ou um zoneamento de graus-dia, para quantificar o rigor climático de um determinado local. Este trabalho apresenta uma proposta de cálculo do número de graus-dia aplicável em todo o país e um zoneamento nacional decorrente dessa classificação. Para isso, foram adotadas as Normais Climatológicas como base de dados. Os graus-dia de aquecimento (GDA) e resfriamento (GDR) foram calculados e as temperaturas de base foram definidas com base em um modelo adaptativo. Para a realização do agrupamento das cidades por GDA e GDR, foi utilizado o procedimento estatístico de *cluster* e, em seguida, a significância estatística dos agrupamentos gerados foi verificada através do Teste F. Como resultados, obteve-se a classificação das 317 cidades por número de GDA e GDR e o zoneamento proposto mostrou-se significante. Por fim, foram produzidos mapas do zoneamento das cidades brasileiras por demanda de aquecimento ou resfriamento.

1 INTRODUÇÃO

O setor residencial é responsável por aproximadamente 22% de toda a energia elétrica consumida pelo país, sendo o consumo per capita de energia elétrica de 0,504 MWh/hab/ano (EPE, 2010). De acordo com estudos (IEA, 2006; EPE, 2007), o consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil apresentará grande crescimento até 2030, influenciado pelo significativo número de novas unidades habitacionais previstas e em construção.

Outro fator que poderá impulsionar o consumo de energia elétrica do setor é o aumento do número de equipamentos de condicionamento de ar nas residências brasileiras. Tal fato é uma consequência direta da elevação da renda da população (IBGE, 2010) e pode estar associado às mudanças climáticas. É interessante exemplificar quantitativamente o impacto desta decisão de compra sobre o consumo energético de uma habitação média. O uso de um equipamento de ar condicionado de 7.000 BTU, durante 64 horas no mês (considerando o uso duas vezes por semana, oito horas por dia, conforme indica o Relatório de Posse do PROCEL (2007) para domicílios em climas quentes), corresponde a um consumo mensal de 57,6 kWh. Considerando o consumo da família de classe média em torno de 150 kWh por mês, esse acréscimo significa uma elevação de 38% do consumo.

A partir deste exemplo pode-se justificar o desenvolvimento de um zoneamento climático do país baseado na demanda de condicionamento térmico das edificações, seja para resfriamento ou aquecimento. Esse artigo tem por objetivo apresentar uma proposta de zoneamento climático baseada no método de graus-dia, utilizando os dados disponíveis nas Normais Climatológicas brasileiras (INMET, 2009). Para tratar de maneira simplificada o

impacto das temperaturas externas sobre o consumo energético das edificações, especialmente devido ao condicionamento ambiental, foram adotados os métodos de graus-hora e graus-dia. Em ambos são estabelecidas medidas quantitativas (em graus), horárias para o primeiro caso e diária para o segundo caso. Essas medidas são obtidas separadamente para análise de demanda de aquecimento e resfriamento.

Existem diferentes procedimentos de cálculo para se chegar aos valores de graus-dia. De modo geral, para tratar o impacto das baixas temperaturas, deve-se calcular graus-dias de necessidade de aquecimento (GDA). Para isso, deve-se verificar o número de dias em que a temperatura externa do ar é inferior a temperatura estabelecida como base. Já o graus-dias de necessidade de resfriamento (GDR) é calculado a partir do número de dias que a temperatura do ar exterior supera a temperatura base. É importante salientar que as temperaturas base nos cálculos de GDA e GDR são distintas. Os métodos de definição dessas temperaturas base variam em função da condição climática do local analisado.

É relevante observar que o uso de graus-dia como parâmetro para estimar o consumo tornou-se usual em diferentes países, contudo no Brasil isso ainda não ocorre. Dentre eles, a abordagem estadunidense de classificação climática baseada no cálculo de graus-dia é a mais amplamente difundida. Tanto o *International Energy Conservation Code* (IECC), a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) e o Departamento de Energia (DOE) trabalham com um zoneamento que parte de uma classificação climática e divide o país em zonas definidas em função do número de graus-dia para aquecimento e da condição de umidade do ar. O primeiro zoneamento, desenvolvido pelo IECC em 2004, foi publicado na edição de 2004 da norma ASHRAE 90.1, na qual foram apresentadas oito zonas climáticas baseadas na temperatura. Além de três zonas divididas em função da condição de umidade, o que resultou em 24 divisões climáticas. Com o intuito de propor uma simplificação desta primeira versão, os pesquisadores do DOE combinaram as categorias do primeiro zoneamento e chegaram a uma classificação climática com cinco categorias. Cada uma das zonas climáticas foram definidas com base no número de GDA para aquecimento, temperatura média e precipitação (DOE, 2010).

Outro tipo de utilização da metodologia de graus-dia em escala nacional ou regional visa tratar das questões relacionadas às mudanças climáticas. Há exemplos de estudos em diferentes regiões do mundo, entre elas Europa, Ásia e Austrália. No trabalho de Christenson et al. (2006) investigou-se a demanda de energia em localidades representativas daquele país a partir de graus-dia para aquecimento (GDA) e resfriamento (GDR) usando a temperatura média mensal no período de 1901 a 2003. Os resultados balizaram a criação de cenários regionais de mudanças climáticas. Pode-se constatar que de modo geral estava ocorrendo superestimação de aquecimento e subestimação de resfriamento. Observações semelhantes foram feitas por Pilli-Sihvola et al. (2010) em outros cinco países europeus: Espanha, França, Holanda, Alemanha e Finlândia. Nestes cinco contextos o trabalho demonstrou necessidade de mais energia para resfriamento e a redução de demanda para aquecimento. Em trabalho semelhante, Cartalis et al. (2001) chegou a previsões semelhantes para a Grécia.

Trabalhos realizados na Ásia também mostraram essa tendência. Lee e Levermore (2010) analisaram duas cidades na Coreia do Sul (Seoul e Ulsan) e os resultados obtidos mostraram um significativo aumento de GDRs e consequentemente a elevação do consumo de energia e das emissões de CO_2 devido à ampliação do uso de equipamentos de ar

condicionado. Em nove zonas climáticas chinesas estudadas por Lam et al. (2011) constatou-se também a elevação de GDRs e a redução de GDAs no século 21.

2 PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS

O desenvolvimento de qualquer classificação climática para o Brasil enfrenta o desafio da obtenção de dados. Assim, optou-se por utilizar os dados de temperatura do ar das Normais Climatológicas (INMET, 2009), pois esta possui um número importante para o contexto nacional de municípios distribuídos pelo território nacional: 291 cidades. Vale enfatizar que esse número de estações é ainda pouco representativo diante da vastidão do território nacional.

Para melhorar o comportamento estatístico dos agrupamentos, ampliaou-se a base de dados utilizados no cálculo de GDR e GDA. Foram acrescentadas 26 cidades existentes na base de dados das Normais Climatológicas original (DNMET, 1992), mas com lacunas de dados de temperatura na versão revista (INMET, 2009). As lacunas foram preenchidas com os dados da versão de 1992 e todo o procedimento descrito para cálculo de GDA e GDR foi realizado, o que permitiu obter então um total de 317 cidades. É importante destacar que essas cidades só foram utilizadas para melhorar o agrupamento e que a diferença entre os dados publicados entre 2009 e 1996 é muito pequena, menor que 0,2º C em média, valor este dentro da margem de erro de medição dos equipamentos meteorológicos.

As variáveis ambientais utilizadas nesse artigo são: temperatura média compensada (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e precipitação acumulada mensal (mm). Contudo, para definição dos graus-dia de aquecimento é necessário valores horários da temperatura do ar, que foram obtidos a partir das temperaturas do ar máxima e mínima mensais, que levaram aos dados horários médios mensais de temperatura do ar. A partir desse valor faz-se o ajuste dos dados locais à curva-padrão da WMO, mostrada pela Eq. 1 (ASSIS, 2001).

$$T_{e,j} = T_x - (T_x - T_n)\, k_j \qquad (1)$$

onde:
$T_{e,j}$ é a temperatura do ar externa na hora j, em °C;
T_x é a temperatura média mensal das máximas, em °C;
T_n é a temperatura média mensal das mínimas, em °C;
k_j é o valor de ajuste da curva horária de temperatura, para a hora j. Os valores de k, a partir da hora 0 até a hora 23, são: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

3 CÁLCULO DO NÚMERO DE HORAS DE GDA E GDR

De acordo com Day (2006), o método mais rigoroso (e mais preciso matematicamente) de se calcular graus-dia é somar as diferenças horárias entre as temperaturas do ar e a temperatura de base e dividir por 24. Nesse cálculo, é importante que apenas os valores positivos sejam somados. Para calcular o número de graus-dia de aquecimento (GDA) quando a temperatura externa for superior à temperatura de base, o valor adotado de GDA para esta hora é zero. A Eq. 2 mostra a fórmula geral para este processo, considerando GDA.

$$D_d = \frac{\sum_{j=1}^{24}(T_b - T_{e,j})_{\left[(T_b - T_{e,j})>0\right]}}{24} \quad (2)$$

onde:
D_d é o número de graus-dia diário para um dado dia;
T_b é a temperatura de base;
$T_{e,j}$ é a temperatura do ar externa na hora *j;*
A parte subscrita denota que apenas valores positivos serão considerados.
Para graus-dia de resfriamento (GDR), a Eq. 2 se torna a Eq. 3, abaixo.

$$D_d = \frac{\sum_{j=1}^{24}(T_{e,j} - T_b)_{\left[(T_{e,j} - T_b)>0\right]}}{24} \quad (3)$$

Os graus-dia são então somados pelo período definido, usualmente por um mês, uma estação ou um ano. Neste artigo, o número de graus-dia foi calculado para cada dia normal, definição já apresentada. Esse valor foi multiplicado pelo número de dias do mês e a soma efetuada para todos os meses do ano, para se obterem os valores anuais de GDR e GDA, conforme mostrado na Eq. 4.

$$D_a = \sum_{i=1}^{12}(D_{d,i} d_i) \quad (4)$$

Onde:
D_a é o número de graus-dia total no ano;
$D_{d,i}$ é o número de graus-dia calculado para o dia normal do mês *i*;
d_i é o número de dias do mês *i*.

3.1 Definição das temperaturas de base

Por causa da grande diversidade de climas do Brasil, havendo desde locais onde há apenas demanda de resfriamento, até locais onde há grande demanda de aquecimento nas edificações. Optou-se por definir as temperaturas de base para aquecimento e resfriamento a partir da temperatura de neutralidade, pois esse tipo de modelo de conforto térmico permite refletir as condições de aclimatação das populações de climas diferentes.

A temperatura de neutralidade pode ser definida por meio do modelo adaptativo de deDear e Brager (2002), mostrado na Eq. 5. Esse trabalho segue o modelo tradicional de temperatura neutra, no qual Tn é uma temperatura do ar de neutralidade, definido pela temperatura média mensal externa, medido por estações meteorológicas locais. Destaca-se que este é o modelo clássico de determinação da temperatura neutra, presente em diferentes trabalhos como o de Auliciems (1981), Humphreys (1978) Nicol e Humphreys (2002) e DeDear e Brager (2002).

$$T_n = 0{,}31 T_e + 17{,}8\ °C \quad (5)$$

onde:
T_n é a temperatura de conforto ou neutralidade;
T_e é a temperatura média mensal externa.

Conforme discutido por Pereira e Assis (2010), a temperatura neutra apresenta boa aproximação com os limites de conforto estudados para o Brasil por diferentes autores, em cidades com diferentes condições climáticas.

DeDear e Brager (2002) ainda definem faixas de aceitabilidade a partir da temperatura de neutralidade. As temperaturas internas devem estar dentro da faixa de Tn ± 2,5 °C, para uma aceitabilidade de 90% dos usuários. Para 80% de aceitabilidade, as temperaturas internas devem estar dentro da faixa de Tn ± 3,5 °C. Neste trabalho, a temperatura de base para o cálculo de graus-dia de resfriamento selecionada é Tn + 2,5°C. Para aquecimento, a adoção do limite de conforto de Tn-3,5 °C mostrou-se inadequada, por gerar uma temperatura base muito elevada, levando a uma demanda de aquecimento, mesmo em cidades de climas quente-úmido como Belém. Nos diferentes trabalhos existentes no mundo sobre zoneamento por graus-dia e apresentados no item 1, a temperatura de base adotada para calcular o GDA é 18° C, mas não há nestes estudos a indicação um estudo científico que justificasse tal escolha.

Considerou-se incoerente adotar um limite fixo para temperatura de base de aquecimento, se a temperatura de base para resfriamento foi definida pela temperatura de neutralidade. Por isso, estabeleceu-se o limite de Tn-5° C para GDA, uma vez que esse valor não gera demanda de aquecimento em locais de clima predominantemente quentes, como os climas Am e Af. Além disso, esse limite gera temperaturas de base próximas à 18 °C em cidades de climas temperados brasileiros (climas Cf e Cw por Köppen e Greiger), ou seja, as cidades com climas mais semelhantes aos dos estudos levantados no item, em geral.

4 AGRUPAMENTO DOS DADOS

Tendo-se calculado o número de GDR e GDA para as cidades estudadas, faz-se necessária a classificação das cidades por similaridade de demanda de aquecimento e/ou resfriamento dentro do país.

Um grupo ou *cluster* pode ser entendido como um conjunto de dados em que seus elementos possuam características em comum. Assim, o agrupamento de dados busca revelar inter-relações entre amostras de um dado universo, quando se desconhece *a priori* o número de grupos. Na busca de padrões de dados para a identificação de agrupamentos, a Análise de *Cluster* é uma das técnicas mais utilizadas, sendo uma técnica de classificação de padrões dentro de grupos. Seu objetivo principal é agrupar as observações em classes naturais de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo tenham alto grau de semelhança ou similaridade, enquanto que, quaisquer elementos pertencentes a grupos distintos tenham pouca semelhança entre si (REDDY, 2011).

A classificação de objetos em grupos baseados na similaridade entre eles é realizada por algoritmos de *clustering*. Neste trabalho adotou-se o algoritmo particionado, em razão do objetivo não ser o agrupamento em níveis, pelo procedimento estatístico de *cluster* denominado de *K-means*. O método trabalha com o agrupamento de casos em *k* grupos, onde *k* é a quantidade de *clusters* ou grupos definidos previamente. Contudo, nem todos os valores adotados para *k* resultarão em um agrupamento satisfatório, havendo então a necessidade de aplicar o método várias vezes para diferentes valores de *k*, optando por aquele agrupamento que se mostrar mais representativo (BUSSAB; MIAZAKI; ANDRADE, 1990). Definem-se como representativos agrupamentos que: (a) os grupos devem abranger todas as observações; (b) o extremo superior de um grupo deve ser o extremo inferior da classe subsequente; (c) cada valor observado deve enquadra-se em

apenas um grupo; e (d) a quantidade de grupos, de modo geral, não deve ser inferior a 5 ou superior a 25 (FARIAS; SOARES; CESAR, 2003).

A significância estatística dos agrupamentos resultantes foi feita por meio do Teste F, que relaciona a variabilidade entre os grupos com a variabilidade dentro do grupo, cujo valor F deve ser um número bem superior à unidade para comprovar que o agrupamento gerado possui esta característica.

5 RESULTADOS

A variação do número de graus-dia obtida é apresentada nas Figuras 2 e 3, para GDA e GDR, respectivamente, para as cidades em estudo. Nesses mapas, as faixas das escalas adotadas foram definidas por quartis.

Pelos mapas, observa-se que a Região Norte é a que possui maior demanda de resfriamento e menor demanda de aquecimento. Na Região Sul, essa relação é oposta. Na Região Sudeste, há uma grande variação nos valores de GDA e GDR entre cidades próximas, principalmente no estado de MG, fato explicado por sua variação climática e de altitude. Nas regiões Centro-Oeste e Nordeste há predomínio de elevada demanda de resfriamento.

Para a demanda de refrigeração (GDR) foram testados agrupamentos de 3, 5 e 7 grupos, conforme apresentado a seguir. Os agrupamentos foram gerados no *software* estatístico SPSS versão 16.

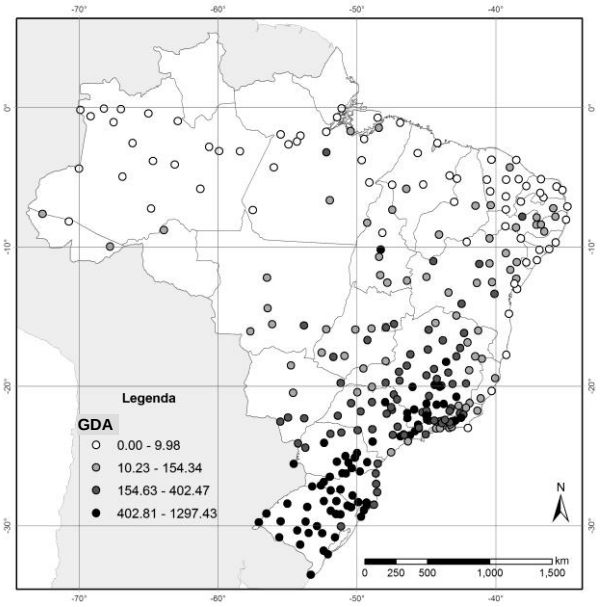

Figura 2: Mapa com a variação da distribuição dos GDA no território nacional

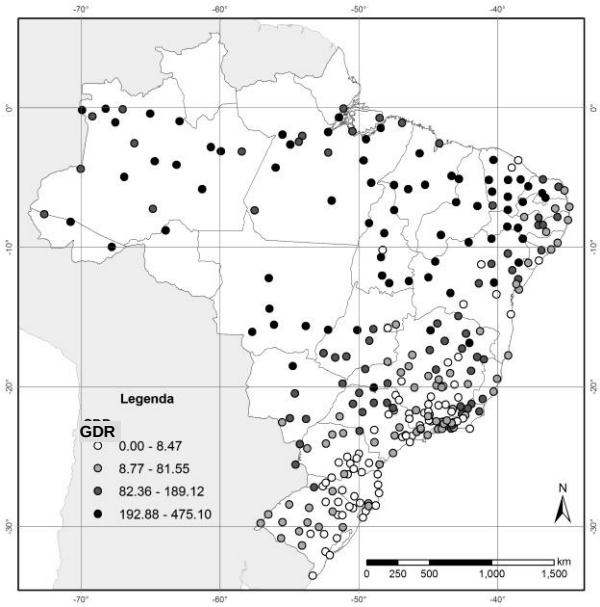

Figura 3: Mapa com a variação da distribuição dos GDR no território nacional

O primeiro agrupamento a ser testado foi o que considerava três grupos. Após o agrupamento gerado, avaliou-se a não existência de dados que apresentam comportamento diferenciado da média, os chamados *outleirs.* Nesse agrupamento, pode-se observar, conforme a

Tabela 1, a concentração de cidades no *Grupo 3* e um desvio padrão alto para todos os três conjuntos, o que permite concluir que essa divisão é pouco representativa, indicando a necessidade de um número maior de grupos.

Tabela 1: Distribuição dos casos no agrupamento de 3 *clusters* para GDR

Cluster	n° de observações	Centro geométrico	Desvio padrão
1	63	309,53	56,7
2	94	153,10	41,1
3	160	25,24	27,7
Total	*317*		

Fonte: Elaboração própria.

Frente a essa condição, propôs-se a divisão em cinco grupos da população de dados, conforme
Tabela 2. Pode-se perceber a ausência de concentração de dados em um único grupo e a redução do desvio padrão em cada um dos grupos, havendo assim uma melhora no agrupamento com este número de clusters. Nessa distribuição também notou-se a inexistência de *outleirs*. Dessa forma, pode-se afirmar que esse agrupamento tem melhor representatividade que o anterior. Por fim, foi analisada a divisão em sete grupos, visando a avaliação de sua representatividade, conforme mostrado na Tabela 3, com a distribuição dos casos nesse agrupamento. Como nos outros casos, não houve a presença de *outleirs.*

A divisão dos dados em sete grupos, embora tenha apresentando uma redução no desvio padrão, originou Cluster com apenas sete cidades (Cluster 7), sendo este número de observações pouco significativo para o universo trabalhado de 317 cidades. Por isso, pode-se dizer que este grupo é pouco representativo. Em razão disto, adotou-se a divisão em cinco *clusters* para o agrupamento das cidades a partir da necessidade de resfriamento.

Tabela 2: Distribuição dos casos no agrupamento de 5 *clusters* para GDR

Cluster	n° de observações	Centro geométrico	Desvio padrão
1	47	324,66	28,45
2	73	121,82	30,21
3	13	228,97	28,40
4	134	22,51	21,39
5	50	433,49	39,23
Total	*317*		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3: Distribuição dos casos no agrupamento de 7 *clusters* para GDR

Cluster	Número de observações	Centro geométrico	Desvio padrão
1	32	261,77	17,8
2	46	127,43	18,0
3	54	68,52	18,6
4	114	9,66	11,1
5	26	330,4	23,1
6	38	192,24	20,2
7	7	427,806	32,3
Total	*317*		

Fonte: Elaboração própria.

No caso do agrupamento das cidades de acordo com a necessidade de aquecimento, GDA, optou-se pela separação das cidades em apenas três grupos devido ao predomínio do clima tropical no Brasil, havendo poucas cidades com significativa necessidade de aquecimento: sem necessidade de aquecimento, com baixa necessidade de aquecimento e com alta

necessidade de aquecimento. Estes três grupos se fazem suficientes para abordar toda a amostra. Quando se agrupam as cidades em mais de três conjuntos, originam-se grupos pouco representativos que abrangem um pequeno número de cidades. O agrupamento das cidades conforme GDA está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 Distribuição dos casos no agrupamento de 3 clusters para GDA

Cluster	n° de observações	Centro geométrico
1	201	62,89
2	78	388,96
3	38	782,26
Total	*317*	

Fonte: Elaboração própria.

5.1 O agrupamento das cidades por GDR e GDA

A partir dos agrupamentos obtidos separadamente, pode-se comparar a ocorrências das cidades nos respectivos grupos de GDR e GDA, como mostra a Tabela 5. Analisando as ocorrências das cidades em cada grupo, constatou-se que as cidades podiam ser divididas de acordo com a necessidade de GDR (baixa, média e alta), de GDA (baixa e alta) e de neutralidade. Deste modo, o agrupamento final das cidades de acordo com a necessidade de refrigeração e de aquecimento resultante foi o de seis grupos, denominados e classificados conforme descrição da Tabela 6.

O Teste F realizado (Tabela 7) para o agrupamento das cidades por GDR e GDA mostrou-se significante, uma vez que a variância dentro dos grupos é bastante inferior à variância obtida entre os grupos, resultando em um valor de F muito superior a 1.

Tabela 5: Ocorrência de GDA nos respectivos grupos de GDR a partir do agrupamento gerado

	Demanda de aquecimento			
Cluster GDR	**Alto GDA**	**Baixo GDA**	**Não há GDA**	**TOTAL**
1	0	01	46	47
2	0	19	54	73
3	0	0	13	13
4	38	56	40	134
5	0	02	48	50
Total	38	78	201	317

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6: Agrupamento para as 317 cidades conforme necessidade de aquecimento e resfriamento

Grupo	Necessidade	Valor (em horas)	Ocorrências
GDA 1	Baixa demanda de aquecimento	GDA < 608,7 horas	75
GDA 2	Alta demanda de aquecimento	GDA >608,7 horas	38
GDR 1	Demanda de resfriamento baixa	GDR < 246,0 horas	50
GDR 2	Demanda de resfriamento moderada	GDR < 353,3 horas	47
GDR 3	Demanda de resfriamento elevada	GDA > 475,1 horas	13
Neutro	Sem demanda de aquecimento e resfriamento	GDR < 148,3 horas e GDA<236,6	91

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7: Teste de significância para o agrupamento gerado

S^2_{ENTRE}	S^2_{DENTRO}	F
1680038,1	1346,4	1247,8

Fonte: Elaboração própria.

A partir da definição final dos *clusters*, os dados foram inseridos no *software* ArcView, para permitir a visualização espacial dos resultados. O mapa (Figura 4) mostra que as cidades com demanda de aquecimento, localizam-se, principalmente, nas Regiões Sul e Sudeste, em locais de clima temperado (Cf ou Cw). As cidades com menor de demanda de resfriamento (Neutro ou GDR1) estão espalhadas por todo o território nacional, em climas equatoriais, tropicais e temperados. Nessas cidades, a temperatura do ar está, predominantemente, próxima à temperatura de neutralidade térmica, por isso, a demanda para uso de sistemas de climatização artificial (aquecimento e/ou resfriamento) é nula ou pequena. As cidades com maior demanda de resfriamento (GDR 2 e 3) ocorreram principalmente nos climas tropicais de savana, como também nos climas equatoriais e de estepes.

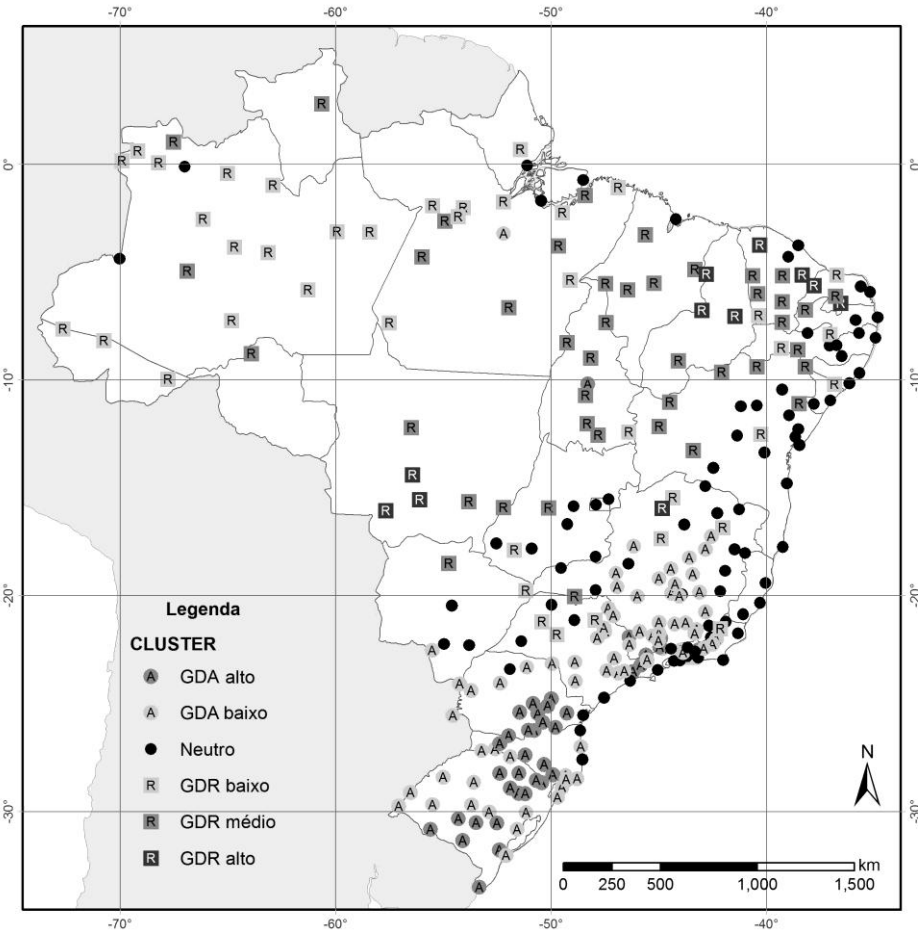

Figura 5: Mapa do zoneamento das cidades brasileiras por demanda de aquecimento ou resfriamento
Fonte: Elaboração própria.

A classificação das 317 cidades brasileiras das Normais Climatológicas original (DNMET, 1992) de acordo com Köppen-Greiger foi realizada para permitir a comparação do agrupamento das cidades por graus-dia com um método amplamente conhecido e adotado

para regionalização de variáveis climáticas. O processo utilizado baseou-se na metodologia descrita por Kottek et al. (2006) e Peel at al. (2007) e as chaves para sua reprodução são expostas na Tabela 1. O mapa com a classificação climática por Köppen-Greiger é mostrado na Figura 1.

Pelo mapa climático (Fig.1), percebe-se que ao norte do país predominam os climas mais quentes e úmidos (Af e Am), ao sul, os climas temperados sem estação seca (Cfa e Cfb) e ao centro do país, clima de savana (Aw). Os climas temperados com estação seca localizam-se na Região Sudeste. Na Região Nordeste, há uma variação de climas quentes, com predomínio do Equatorial no litoral, passando pelos tropicais de savana (Aw e As), até atingir o clima de estepes (BSh) na sua área central.

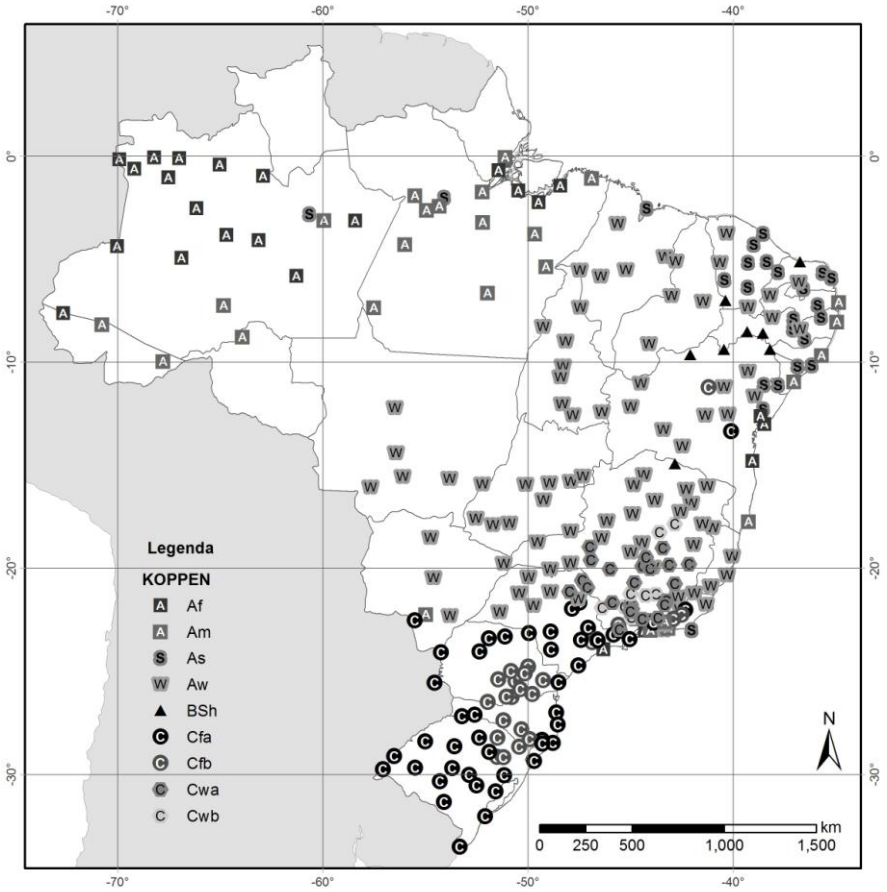

Figura 1: Mapa da classificação climática das 317 estudadas por Köppen- Greiger

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento sustentável de grandes cidades em países em desenvolvimento esbarra em desafios específicos, inclusive no aspecto do uso da energia. O consumo de energia em edificações tem apresentado uma tendência de crescimento no Brasil, tanto em função do aumento do número de edificações, como em função do aumento do uso de condicionamento de ar no setor residencial. Usualmente, têm sido utilizados no mundo os graus-dia para estimar o consumo de energia devido ao aquecimento e/ou resfriamento em edificações, uma vez que a temperatura interna definida para uma edificação nas estações

de aquecimento ou de resfriamento é a chave para o uso da energia na edificação. Ela determina o ponto a partir do qual é necessário o uso de energia ativa para se garantir o conforto dos usuários e quanto maior a diferença entre esse ponto e a temperatura do ar externo, maior o consumo de energia. Assim, a caracterização do clima e o zoneamento estão relacionados com a potencial demanda de energia para aquecimento ou resfriamento, indicada pelos graus-dia para cada localidade. Contudo, no Brasil, não há norma técnica que estabeleça um método de cálculo e/ou um zoneamento de graus-dia.

Para o desenvolvimento de uma proposta de zoneamento climático baseado na demanda de condicionamento térmico, foram utilizados os dados mensais de temperatura média do ar, temperatura média das máximas, temperatura média das mínimas e precipitação, oriundo das Normais Climatológicas (INMET, 2009), por se tratar da maior base de dados climáticos disponível para o Brasil atualmente.

A partir destes dados, convertidos em dados horários, foram calculados os números de horas de graus-dia de aquecimento (GDA) e de graus-dia de resfriamento (GDR). Adotou-se, devido à diversidade climática existente no Brasil, a temperatura de neutralidade definida de acordo com o modelo adaptativo de deDear e Brager (2002), para se estabelecer as temperaturas de base diferenciadas para cada localidade para aquecimento e resfriamento, de forma a considerar a aclimatação das populações ao clima. Adotou-se a faixa de aceitabilidade de Tn+2,5°C para o cálculo do GDR e de Tn-5°C para o cálculo do GDA. A opção pelo limite de Tn-5°C se deu devido a esse limite não gerar demanda de aquecimento em locais de clima quente. Além disso, esse limite resulta em temperaturas de base próximas à 18°C em cidades de climas amenos, em conformidade ao valor usualmente adotado em países de clima temperado.

Após a realização do cálculo de GDR e GDA para o universo de 317 cidades, as cidades foram agrupadas por similaridade de demanda de aquecimento e resfriamento por meio da técnica de cluster. Testou-se agrupamentos com 3, 5 e 7 grupos, o que permitiu constatar que o agrupamento com melhor representatividade e significância estatística correspondeu ao agrupamento com cinco grupos, sendo este então o adotado.

No entanto, avaliando o agrupamento resultante, comparou-se a ocorrência das cidades nos respectivos grupos de GDR e GDA. Obteve-se então um agrupamento final de seis grupos, quais são: demanda de aquecimento baixa; demanda de aquecimento alta; demanda de resfriamento baixa; demanda de resfriamento moderada; demanda de resfriamento elevada; sem demanda de aquecimento e resfriamento. O agrupamento gerado apresentou-se coerente, significante e com baixo desvio padrão considerando a extensão e diversidade do território brasileiro.

Como próximas etapas de trabalho prevê-se a avaliação da influência de outras variáveis (como altitude, ventos e relevo) no zoneamento e expansão da base de dados utilizada para refinamento do zoneamento climático baseado na demanda de condicionamento térmico de edificações residenciais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Chapter 16: Focus on Brazil. In: **World Energy Outlook 2006 - Focus on Key Topics**. Paris, IEA, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1**. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, ASHRAE, 2004. 182 p.

_____. **ANSI/ASHRAE Standard 55**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, ASHRAE, 2004. 35 p.

ASSIS, E. S. Método Integrado de Análise Climática para Arquitetura Aplicado à Cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro**. Anais...** São Paulo, ANTAC, 2001. 1 CD-ROM.

AULICIEMS, A. Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design. International Journal of Biometeorology, 1981.

BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à Análise de Agrupamentos.** São Paulo, Associação Brasileira de Estatística, 1990.

CARTALIS C.; SYNODINOU A.; PROEDROU M.; TSANGRASSOULIS A.; CHRISTENSON M.; MANZ H.; GYALISTRAS D. Climate Warming Impact on Degreedays and Building Energy Demand in Switzerland. **Energy Convers Manage,** n.47, p. 671-686, 2006.

DAY, T. **Degree-days: theory and application TM4**. London, The Chartered Institution of Building Services Engineers (CISBE), Sep 2006. ISBN-10: 1-903287-76-6.

DEDEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549-561, jul. 2002.

DEPARTAMENTO Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992.

DOE. **High-Performance Home Technologies: Guide to Determining Climate Regions by County**. Washington, DOE, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, MME/EPE, 2007. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acessado em ago 2011.

_____. **Balanço Energético Nacional 2010**: Ano base 2009. Rio de Janeiro, EPE, 2010. Disponível em <http://www.epe.gov.br>.

HUMPHREYS, M. Outdoor Temperatures and Comfort Indoors. Building Research & Information, v. 6, n. 2, p. 92, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Trabalho e Rendimentos**. Brasília, IBGE, 2010.

INSTITUTO Nacional de Meteorologia (BRASIL). Normais climatológicas do Brasil: 1961 - 1990. Ed. rev. ampl. Brasilia , DF: INMET: 2009. 465 p. ISBN 9788562817014.

KOTTEK, M., GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. **Meteorologische Zeitschrift,** v. 15, n. 3, p. 259-263, June 2006. Berlin, Stuttgart, Gebrüder Borntraeger, 2006.

LAM J.C.; WAN K. K. W.; PAN W.; LI D. H. W. **Long-term Trends of Degree-Days In the 20th and 21st Centuries and Heating and Cooling Energy Use Implications. Research report**. Hong Kong, Department of Civil and Architectural Engineering, City University of 2011.

LEE K.; LEVERMORE G.J. Weather Data for Future Climate Change for South Korean Building Design: Analysis for Trends. **Architectural Science Review**, n.53, p.157-171, 2010.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 563-572, jul. 2002.
PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007. Available in < http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html >

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de Modelos de Índices Adaptativos para Uso no Projeto Arquitetônico Bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 37-49, jan./mar. 2010. ISSN 1678-8621.

PILLI-SIHVOLA K.; AATOLA P.; OLLIKAINEN M.; TUOMENVIRTA H. Climate and Electricity Consumption e Witnessing Increasing or Decreasing Use and Costs? Energy Policy, n.38, p. 2409-2419, 2010.

REDDY, T. A. **Applied Data Analysis and Modeling for Energy Engineers and Scientists**. Springer, London, 2011. 660 p.

FARIAS, A. A.; CESAR, C. C.; SOARES, J. F. **Introdução à estatística.** Rio de Janeiro, Livros técnicos e científicos, 2003. 340 p.