

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS: APERFEIÇOAMENTO DOS RESULTADOS

Ana Paula de Almeida Rocha (1); Eleonora Sad de Assis (2); Willi de Barros Gonçalves (3)

(1) Bolsista, Graduanda da Escola de Arquitetura, aprocha2003@yahoo.com.br

(2) Doutora, Professora da Escola de Arquitetura, elsad@ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo,
Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Edificações,
Rua Paraíba 697, Belo Horizonte - MG, 30130-140, Tel. (31) 3409-8825

(3) Mestre, Professor da Escola de Belas Artes da UFMG, Professor (licenciado sem vencimentos) do
Departamento de Arquitetura e Urbanismo da PUC-MG, willidebarros@ufmg.br
Laboratório de Ciência da Conservação/Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis,
Av. Antonio Carlos, 6627 - Belo Horizonte - MG, 31270-901, Tel. (31) 3409-5378

RESUMO

Esse artigo apresenta o aperfeiçoamento dos resultados do zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais, agregando dados regionais de vento. O zoneamento e a aplicação de mapas e recomendações ao projeto de edifício foram estabelecidos através da análise dos dados climatológicos de 1.717 localidades mineiras e do entorno, utilizando como metodologia as Tabelas de Mahoney. A complementação dos dados climatológicos foi feita a partir da simulação de dados geográficos dessas localidades em sistema de redes neurais artificiais. Integram-se os resultados da classificação de zonas bioclimáticas e os estudos de potencial regional dos ventos, aprimorando, assim, o zoneamento bioclimático de Minas Gerais e as recomendações ao projeto de edificações, com ênfase no programa arquitetônico da habitação. Além disso, a partir do resultado de zoneamento bioclimático, foi feita uma análise comparativa com a divisão de zonas estabelecida pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social, discutindo as diferenças obtidas. Espera-se que os resultados possam auxiliar os municípios mineiros quanto ao estabelecimento de uma legislação construtiva mais adequada às condições ambientais locais.

Palavras-chave: zoneamento bioclimático, desempenho térmico, habitação social.

ABSTRACT

This paper presents the improvement of the results achieved for the bioclimatic zoning of the state of Minas Gerais by adding data of regional wind. The zoning and the application of maps and recommendations for building design, using the method of the Mahoney Tables, were established through the analysis of climatological data from 1,717 sites within the state territory and its limits. Climatological data from most of these sites were estimated by using an artificial neural network program. The results from the bioclimatic zoning and from the studies of regional wind potential were approached in a comprehensive way so as to improve the state bioclimatic zoning. The emphasis was on the recommendations to housing programs. Moreover, the bioclimatic zoning results were compared with the zoning from the Brazilian Standard for Thermal Performance of Social Housing and the differences between them were discussed. It is expected the results might help the state municipalities to establishing a more adequate constructive legislation having in sight the local environmental conditions.

Keywords: Bioclimatic zoning , thermal performance, social housing.

1. INTRODUÇÃO

As questões energético-ambientais se tornaram uma preocupação constante, devido aos crescentes problemas climáticos e energéticos que vêm ocorrendo nos âmbitos nacional e mundial. Nas áreas urbanas é importante que as edificações sejam projetadas e construídas de acordo com critérios que garantam a sua adequação ao clima, favorecendo a qualidade ambiental e a satisfação do usuário quanto às condições térmicas dos ambientes internos e, conseqüentemente, evitando o desperdício no consumo de energia com condicionamento artificial. Considerando a pouca cobertura de estações climatológicas e, portanto, a escassez de dados climáticos num país tão grande como o Brasil, a importância de estudos sobre zoneamento bioclimático torna-se ainda mais evidente. De fato, segundo Roriz et al (1999), menos de 4% dos mais de 5.500 municípios brasileiros possuem dados climáticos publicados.

O desenvolvimento de zonas bioclimáticas possibilita a elaboração de estratégias voltadas para a construção de edifícios adequados a cada zona particular. No âmbito mundial, existem diversos códigos internacionais relacionados ao desempenho térmico de edifícios, como, por exemplo, o *International Energy Conservation Code* (IECC) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O primeiro é um código americano de eficiência energética para edificações climatizadas artificialmente. O IECC dá diretrizes para o projeto de envoltórias e suas componentes de acordo com um zoneamento climático produzido a partir do método de graus-hora, bem como para o desempenho de instalações e equipamentos, de modo a otimizar o uso de combustíveis fósseis, assim como de outros recursos não-renováveis. A primeira edição deste código foi publicada em 1998; desde então, é revisado e atualizado a cada três anos, sendo o último publicado em 2006, baseado no *Model Energy Code*, do *Council of American Building Officials*. O código português (RCCTE), por outro lado, volta-se mais para a questão do condicionamento natural das edificações, o que contribui para a redução do consumo energético dos edifícios. Este regulamento estabeleceu nove zonas climáticas para o país, a partir da aplicação do Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG), tendo sido propostas estratégias bioclimáticas para cada uma das zonas, tanto no verão quanto no inverno. O programa de eficiência energética português apresenta, também, informações sobre o funcionamento de sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento dos edifícios para que esses dispositivos construtivos possam ser implantados no sentido de ajudar as edificações a atenderem as estratégias bioclimáticas do local.

No Brasil, os estudos relacionados ao conforto ambiental e eficiência energética vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1980. Os estudos para o zoneamento bioclimático brasileiro iniciaram-se com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, em 1985, onde foi desenvolvida uma metodologia para a avaliação de desempenho térmico de habitações unifamiliares, estabelecendo um zoneamento climático de verão, com onze zonas, e um zoneamento climático de inverno, com nove zonas. Mais tarde, Silva (1994) estabeleceu um zoneamento bioclimático para fins de edificações, usando os dados climáticos normais de 204 estações meteorológicas brasileiras e empregando as estratégias de projeto sugeridas por Givoni (1992), o que resultou em 13 zonas bioclimáticas. E finalmente, em 1999, Roriz, Lamberts e Ghisi desenvolveram uma proposta para o zoneamento bioclimático brasileiro, posteriormente formalizada como a normativa brasileira de Desempenho Térmico das Edificações, a NBR 15.220 (ABNT, 2005), que traz diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

De acordo com Roriz et al (1999), os mapas do zoneamento foram desenvolvidos a partir de uma adaptação do diagrama bioclimático de Givoni, através de uma base de dados fornecida pelas normais climatológicas de cidades brasileiras disponíveis. Para as demais localidades, os dados climáticos foram estimados por método de interpolação. O desenvolvimento da normalização possibilita a melhoria da qualidade das edificações, pela adoção de critérios mínimos de desempenho térmico para habitações de interesse social.

Entretanto, alguns trabalhos já apontam certas limitações da norma brasileira, como mostraram Pereira e Assis (2005a; 2005b), quando obtiveram discrepâncias entre as recomendações normativas e o desempenho térmico passivo de edificações em Belo Horizonte, principalmente com relação às características das envoltórias; ou Bastos et al (2007) e Bogo (2008), que mostraram a existência de deficiências nas diretrizes quanto à ventilação natural e à desconsideração da altitude no processo de interpolação de dados.

Nesse sentido, mostra-se fundamental o aprofundamento dos estudos para a definição do zoneamento bioclimático nacional, possibilitando o aprimoramento das técnicas e recomendações construtivas. O método de Mahoney foi o procedimento escolhido neste trabalho para desenvolver a proposta de zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais, onde ocorrem seis das oito zonas definidas pela NBR 15.220.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um processo de aperfeiçoamento dos resultados do zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais, por meio da metodologia das Tabelas de Mahoney, agregando dados regionais sobre vento. Este parâmetro é uma das principais variáveis para o conforto térmico em climas tropicais, considerando edificações climatizadas naturalmente e tendo em vista a racionalização do uso de energia.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Levantamento de dados para aplicação na metodologia das Tabelas de Mahoney e outras variáveis para o estado de Minas Gerais.
2. Aplicação do método de Mahoney e processo de classificação dos dados levantados.
3. Integração de resultados encontrados a partir das diferentes variáveis.

3.1. Levantamento de dados

Nessa etapa, foi feito um levantamento das variáveis climáticas importantes no processo de projeto arquitetônico, bem como das diretrizes previstas pela norma brasileira de Desempenho Térmico nas Edificações – parte 3 (NBR 15.220) para o território mineiro.

3.1.1. Dados climáticos e aplicação de redes neurais artificiais

O procedimento adotado para a classificação do estado de Minas Gerais em zonas bioclimáticas foi apresentado por Gonçalves et al (2003). Para a aplicação das Tabelas de Mahoney fez-se necessário um levantamento prévio de dados climatológicos das localidades dentro dos limites de Minas Gerais e algumas do seu entorno imediato. Em Minas Gerais, apenas 3,8% dos municípios possuem dados publicados nas Normais Climatológicas (BRASIL, 1992), ou seja, de um total de 853 municípios, dados de apenas 32 localidades foram divulgados. A baixa densidade de estações meteorológicas dificulta o trabalho de identificação de estratégias de condicionamento térmico.

Diante disso, o desenvolvimento de um modelo preditivo baseado em redes neurais artificiais (RNA) foi fundamental para complementar o quadro de dados climatológicos e possivelmente aperfeiçoar o resultado final de classificação climática (ZARATE et al, 2008). De acordo com aqueles autores, efetuou-se um treinamento preliminar de uma amostra de dados climáticos disponíveis no estado, o que permitiu gerar uma representação neural com capacidade de estimar as informações climáticas solicitadas pelas Tabelas de Mahoney – temperatura máxima e mínima, umidade relativa e pluviosidade – a partir das coordenadas geográficas e da altitude de um local qualquer dentro do limite do estado de Minas Gerais. A base de dados climáticos usada para treinamento da rede neural foi selecionada a partir de 66 estações meteorológicas do 5º Distrito de Meteorologia e mais 15 estações limítrofes de outros estados, publicados nas Normais Climatológicas, totalizando 81 localidades.

Foram, então, levantados dados de longitude, latitude e altitude de mais 1.636 localidades do estado, organizados em planilhas e introduzidos no simulador climático RNA-Clima, para estimar os dados climáticos de todos aqueles pontos (Figuras 1 e 2).



Figura 1 – Entrada do arquivo no simulador RNA-Clima

Mês	Latitude	Longitude	Altitude	Tmin	Tmax	Umidade R.	Pluviosidade
1.0	-19.8253	-41.1111	190.0	21.621464	33.008163	80.146805	173.60297
2.0	-19.8253	-41.1111	190.0	21.13775	32.68378	79.29151	98.77016
3.0	-19.8253	-41.1111	190.0	21.629354	32.77401	81.51821	116.011986
4.0	-19.8253	-41.1111	190.0	19.226124	30.594687	80.92134	102.47875
5.0	-19.8253	-41.1111	190.0	17.074753	28.526852	80.717606	42.4403
6.0	-19.8253	-41.1111	190.0	15.216788	27.826752	72.77109	11.133316
7.0	-19.8253	-41.1111	190.0	14.251568	26.659295	73.25673	14.651895
8.0	-19.8253	-41.1111	190.0	16.335342	26.993881	80.90034	35.98661
9.0	-19.8253	-41.1111	190.0	17.56911	27.7948	74.63907	56.42325
10.0	-19.8253	-41.1111	190.0	18.55053	28.458713	73.94448	76.4491
11.0	-19.8253	-41.1111	190.0	19.762491	29.823855	80.90559	197.92009
12.0	-19.8253	-41.1111	190.0	20.874785	30.594837	79.422775	200.73442

Figura 2 – Exemplo de resultado de uma simulação

3.1.2. Dados de vento

Para introdução da variável vento no processo de zoneamento bioclimático, fez-se necessário um levantamento dos mapas do potencial eólico brasileiro, uma vez que o método de Mahoney desconsidera parâmetros relativos à velocidade e direção dos ventos de maneira direta. Utilizaram-se mapas de velocidade dos ventos (Figura 3) do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (ELETROBRÁS, 2001).

Os mapas de potencial eólico do Brasil foram publicados em arquivo PDF, já a base de referência do limite do território mineiro usada para o recorte do mapeamento foi obtida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em formato DWG. Dessa maneira, a seleção do contorno do estado de Minas Gerais foi feita manualmente sobre o mapa de ventos da região sudeste, tomando como base o limite do INPE, utilizando programas computacionais do tipo CAD.

Observa-se que os valores de velocidade de vento constantes no Atlas estão a 50 m de altura. Para considerar a velocidade do vento na altura originalmente medida nas estações meteorológicas, ou seja, a 10 m, aplicou-se a equação 1. O resultado dessa etapa pode ser observado na correção da legenda da Figura 4.

$$U_2 = U_z \cdot 4,87/\text{LN}(67,8 \cdot z - 5,42) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

U_2 é a velocidade média do vento a 2 m;

U_z é a velocidade média do vento à uma dada altura;

z é a altura onde ocorre U_z .

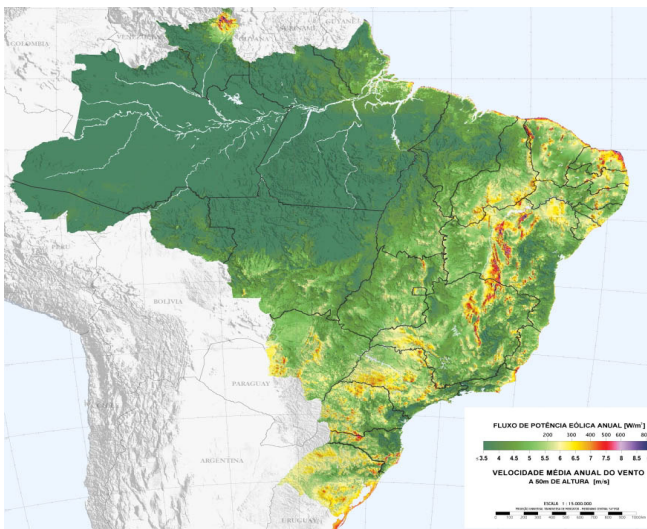


Figura 3 – Mapa de Potencial Eólico Brasileiro: velocidades médias anuais a 50m de altura. Fonte: ELETROBRÁS, 2001

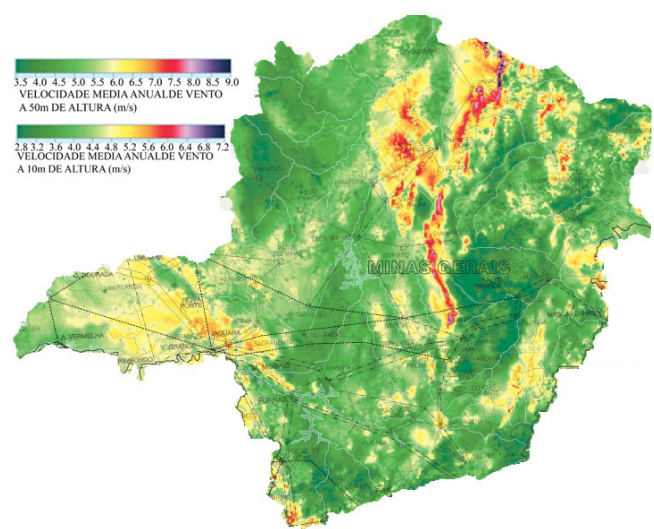


Figura 4 – Resultado de correção das velocidades médias para 10m de altura. Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS, 2001.

3.1.2. Dados da NBR 15.220

Para uma posterior análise crítica dos resultados do trabalho, foi feito também um levantamento de dados da atual Norma Brasileira de Desempenho Térmico em Edificações (ABNT, 2005). Para o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, o território nacional foi dividido em 8 zonas e para cada zona, foram indicadas estratégias de condicionamento térmico passivo que visam proporcionar condições mínimas de conforto térmico aos usuários (RORIZ et al, 1999).

Para possibilitar um método de superposição comparativa dos resultados das metodologias usadas na norma e neste trabalho, foi realizado o mesmo procedimento de recorte do limite do estado de Minas Gerais do mapa

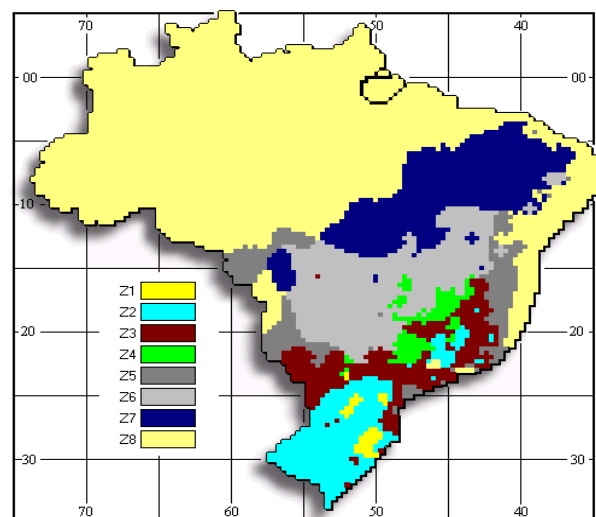


Figura 5 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Fonte: ABNT, 2005.

apresentado na norma (Figura 5), por meio de ferramentas computacionais que trabalham com imagens, uma vez que os mapas georeferenciados do zoneamento bioclimático não foram disponibilizados para este estudo.

A base limítrofe do território mineiro usada para o recorte do zoneamento foi a mesma usada para a seleção no mapa de potencial eólico. Dessa maneira, o contorno de Minas Gerais, baseado no arquivo do INPE, foi traçado manualmente sobre a imagem do mapa de divisão de zonas bioclimáticas. O resultado desse traçado pode ser observado na Figura 6.

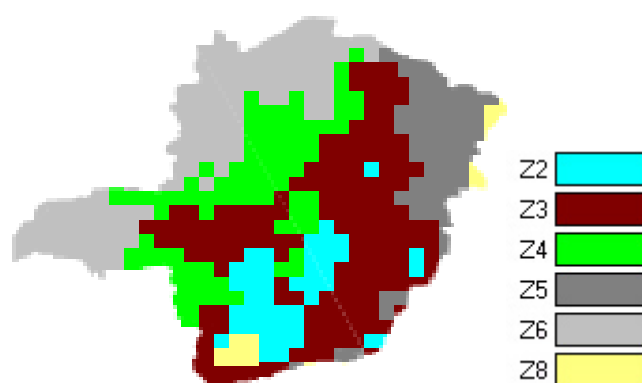


Figura 6 – Zoneamento Bioclimático para o estado de Minas Gerais. Fonte: Adaptado de ABNT, 2005.

3.2. O método de Mahoney e o processo de classificação dos dados

Como visto anteriormente, através das redes neurais foi possível estimar os dados climáticos de um grande número de localidades dentro do estado de Minas Gerais, a partir de dados de entrada relativos às coordenadas geográficas e altitude de cada ponto. A partir disso, os dados estimados pelo simulador foram processados nas Tabelas de Mahoney, através de um algoritmo computacional na linguagem do programa *MatLab*® (GONÇALVES et al, 2003). Os parâmetros de entrada foram os dados climáticos e os resultados foram descritos a partir de vetores com 22 posições *booleanas* (0 ou 1), que correspondem às 22 recomendações projetuais indicadas nas Tabelas de Mahoney, sendo que (1) significa aplicável, e (0) não aplicável. No Quadro 1 temos a descrição das 22 recomendações de projeto e a relação com os grupos resultantes.

A partir desse processamento, os pontos com resultados idênticos foram agrupados. Entretanto, como o número de zonas obtidas foi demasiadamente grande, estabeleceram-se critérios de análise de reagrupamento dos pontos da seguinte maneira (GONÇALVES et al, 2003; ZARATE et al, 2008):

- Os resultados das recomendações não podem ser contraditórios, especialmente no que diz a respeito a dimensões das aberturas, tipo de paredes e coberturas;
- Recomendações do tipo coberturas com isolamento térmico ou com câmara de ar e superfície refletora foram consideradas semelhantes.

Quadro 1 – Recomendações arquitetônicas das Tabelas de Mahoney

Grupo	Recomendações
Planta de situação	1 Construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste a fim de diminuir a exposição ao sol.
	2 Plantas compactas com pátios internos.
Espaçamento entre construções	3 Grandes espaçamentos para favorecer a penetração do vento.
	4 Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio.
	5 Distribuição compacta.
Circulação de ar	6 Construções com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente.
	7 Construções com orientação dupla, circulação de ar cruzada e aberturas de ar controláveis.
	8 Basta renovação higiênica do ar.
Dimensões das aberturas	9 Grandes: 40% a 80% das fachadas norte e sul.
	10 Médias: 25% a 40% da superfície das paredes.
	11 Intermediárias: 20% a 35% da superfície das paredes.
	12 Pequenas: 15% a 25% da superfície das paredes.
Posição das Aberturas	13 Médias: 25% a 40% da superfície das paredes.
	14 Aberturas nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento.
Proteção das aberturas	15 Como acima, mas também aberturas nas paredes internas.
	16 Proteção da insolação direta
Paredes e pisos	17 Proteger da chuva
	18 Construções leves, baixa inércia térmica.
Cobertura	19 Construções maciças, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.
	20 Leve (pouca inércia), superfície refletora, uso de câmara de ar.
	21 Leve e bem isolada.
	22 Maciça, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.

Para elaboração de um mapa com o resultado de classificação das Tabelas de Mahoney foi utilizado o método geo-estatístico *nearest neighbour* do programa Surfer®. Este método, utilizado para espacializar os pontos, não faz nenhum tipo de interpolação, mas considera que o valor de cada ponto possui uma área de influência e que esse valor é possivelmente propagado para os seus vizinhos mais próximos. O programa Surfer® é um sistema de informações geográficas (SIG) bastante simplificado, mas permitiu uma rápida visualização dos resultados da classificação. Deste modo, o total de 1.717 pontos foi introduzido no programa em uma malha de 100 linhas por 84 colunas sobre o território de Minas Gerais, possibilitando gerar um mapa representativo do zoneamento bioclimático.

3.3. Integração dos resultados

Para a complementação do estudo, foi adotado um procedimento de superposições dos mapas de ventos, da NBR 15.220 e o mapa temático do zoneamento bioclimático desenvolvido, o que possibilitou uma análise das condições de vento em cada zona, bem como a comparação com os resultados da norma brasileira.

3.3.1. Superposição com mapa dos ventos

Levando em consideração o grande potencial do recurso da ventilação natural para o conforto higrotérmico dos ambientes internos das edificações de baixa densidade de ocupação, a inserção da variável vento mostrou-se importante para a complementação dos resultados de zoneamento.

O procedimento de integração dos resultados dos mapas de ventos e zoneamento do território mineiro foi realizado através de um SIG, que permitiu a superposição dos mapas.

3.3.2. Superposição com mapa da NBR 15.220

Tendo em vista o processo realizado para integração do mapa de zoneamento resultante da aplicação das Tabelas de Mahoney e dos dados de potencial eólico, o mesmo procedimento de superposição de informações foi realizado para os mapas de zoneamento deste trabalho e da NBR 15.220.

Utilizou-se o mapa da norma apresentado na primeira etapa da metodologia, onde o limite do território mineiro foi selecionado. Isso permitiu realizar uma análise crítica do resultado final do trabalho, com base na NBR 15.220.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados de cada etapa deste trabalho:

1. Resultado final de Zoneamento Bioclimático do estado de Minas Gerais, empregando as Tabelas de Mahoney.
2. Integração do resultado do mapeamento das zonas e a variável vento, por meio da superposição de mapas representativos.
3. Análise crítica dos resultados de zoneamento da pesquisa, tendo como base o resultado de divisão de zonas da norma brasileira.

4.1. Zoneamento bioclimático de Minas Gerais

Com a aplicação das Tabelas de Mahoney aos 1.717 pontos do território mineiro, constatou-se a existência de 16 grupos onde as resultantes de recomendações arquitetônicas apresentaram semelhantes. Considerando demasiado esse número de grupos, optou-se por um procedimento de reagrupamento para facilitar o trabalho de aplicação do zoneamento no processo construtivo de edificações. Esse reagrupamento foi feito a partir de comparação das características projetuais de cada zona, como já apresentado anteriormente na metodologia. Dessa maneira, obteve-se 4 zonas bioclimáticas para o estado de Minas Gerais, como pode ser visto na Figura 7.

ZONA	GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	TOTAL EM 1717	S.TOT %	TOTAL %
1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	192	11,21%	30,61%
	9	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	87	5,08%		
	3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	90	5,26%		
	10	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0,06%		
	4	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	135	7,89%		
7	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	19	1,11%			
2	5	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	78	4,56%	51,52%	
	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	800	46,73%		
	12	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	4	0,23%		
3	6	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	217	12,68%	13,08%	
	15	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0,06%		
	16	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	6	0,35%		
4	8	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	73	4,26%	4,79%	
	13	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	7	0,41%		
	14	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0,06%		
	11	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0,06%		

Figura 7 – Reagrupamento dos 1717 pontos de acordo com as resultantes de diretrizes projetuais das Tabelas de Mahoney.
Fonte: Adaptado de Zarate et al, 2008.

A Figura 8 mostra a espacialização do resultado das 4 zonas bioclimáticas, através de mapeamento no programa Surfer®, utilizando o processo de interpolação *nearest neighbour*. Os números junto à legenda estão relacionados às porcentagens territoriais correspondentes a cada zona.

De acordo com esse resultado, o território mineiro possui 2 zonas climáticas mais representativas, localizadas em uma porção sudeste do estado, que são determinadas pelas zonas 1 e 2, e correspondem, respectivamente, 30,61% e 51,52% da área total. Por outro lado, representando uma extensão menos significativa, mas não menos importante quanto à classificação climática, estão as zonas 3 e 4, que correspondem a 13,08% e 4,79% do estado.

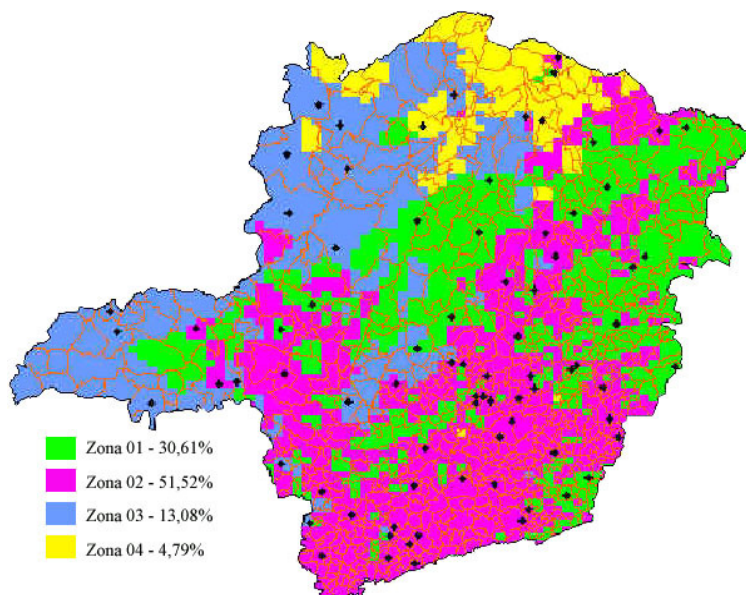


Figura 8 – Zoneamento Bioclimático do estado de Minas Gerais.
Fonte: Zarate et al, 2008

As recomendações arquitetônicas baseadas nas Tabelas de Mahoney para cada zona bioclimática indicada são descritas no Quadro 2.

Estas recomendações arquitetônicas estão relacionadas a três aspectos fundamentais para o processo projetual: implantação, tipo de envoltórias e aberturas para ventilação.

As indicações referentes à implantação do edifício – planta de situação e espaçamento entre as edificações – possuem um caráter mais urbano e podem influenciar nas definições das normas municipais concernentes ao parcelamento, uso e ocupação do solo, principalmente no que diz a respeito ao tamanho e orientação dos lotes urbanos. No caso específico de Minas Gerais, essas diretrizes foram semelhantes para todas as zonas climáticas, com poucas exceções para algumas localidades dentro da zona 1, 3 e 4 que podem necessitar de uma ventilação controlada para se atingir condições mínimas de conforto térmico.

Ao mesmo tempo, foram encontradas algumas diferenças entre as recomendações relativas às envoltórias da edificação: paredes e pisos, e cobertura. Nas zonas 1 e 2, baixa inércia térmica é um fator importante para adequação climática dentro da edificação, podendo ser alcançada pelo uso de materiais construtivos leves. Entretanto, nas zonas 3 e 4, a capacidade de armazenamento de calor se mostra essencial nas paredes para se atingir um nível adequado de conforto térmico nos períodos de inverno. O uso de maior inércia térmica ajuda no atraso e na diminuição dos picos de temperatura internos nessas regiões, e isso é possível através da escolha de tipos construtivos mais pesados, onde são empregados materiais maciços. Por outro lado, nos períodos de verão, o armazenamento térmico pela edificação deve ser evitado, por isso se recomendou o uso de coberturas leves, que permitam o isolamento térmico – o que ocorre praticamente no estado todo.

Quadro 2 – Recomendações arquitetônicas aplicáveis em cada zona bioclimática

Zona 1
<i>Planta de situação:</i> Construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste, a fim de diminuir a exposição ao sol;
<i>Espaçamento entre edificações:</i> Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio*;
<i>Circulação de ar:</i> Construções com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente;
<i>Dimensões das aberturas:</i> Médias: 25% a 35% da superfície das paredes;
<i>Posição das aberturas:</i> Aberturas nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento;
<i>Proteção das aberturas:</i> Proteger das chuvas* ;
<i>Paredes e pisos:</i> Construções leves, baixa inércia térmica;
<i>Cobertura:</i> Leve (pouca inércia), superfície refletora, uso de câmara de ar.
Zona 2
<i>Planta de situação:</i> Construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste, a fim de diminuir a exposição ao sol;
<i>Espaçamento entre edificações:</i> Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio;
<i>Circulação de ar:</i> Construções com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente;
<i>Dimensões das aberturas:</i> Médias: 25% a 35% da superfície das paredes;
<i>Posição das aberturas:</i> Aberturas nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento;
<i>Proteção das aberturas:</i> Proteção da insolação direta, proteger das chuvas*;
<i>Paredes e pisos:</i> Construções leves, baixa inércia térmica;
<i>Cobertura:</i> Leve bem isolada.
Zona 3
<i>Planta de situação:</i> Construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste, a fim de diminuir a exposição ao sol;
<i>Espaçamento entre edificações:</i> Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio*;
<i>Circulação de ar:</i> Construções com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente;
<i>Dimensões das aberturas:</i> Médias: 25% a 35% da superfície das paredes;
<i>Posição das aberturas:</i> Aberturas nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento;
<i>Proteção das aberturas:</i> proteger das chuvas;
<i>Paredes e pisos:</i> Construções maciças, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas;
<i>Cobertura:</i> Leve bem isolada.
Zona 4
<i>Planta de situação:</i> Construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste, a fim de diminuir a exposição ao sol;
<i>Espaçamento entre edificações:</i> Como acima, mas com proteção contra vento quente ou frio*;
<i>Circulação de ar:</i> Construções com orientação simples, aberturas que permitam circulação de ar permanente;
<i>Dimensões das aberturas:</i> Médias: 25% a 35% da superfície das paredes* ou Intermediárias: 20% a 35% da superfície das paredes*
<i>Posição das aberturas:</i> Aberturas nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento;
<i>Proteção das aberturas:</i> Proteção da insolação direta;
<i>Paredes e pisos:</i> Construções maciças, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas;
<i>Cobertura:</i> Leve bem isolada* ou Maciça, tempo de transmissão térmica superior a 8 horas*.

(*) parâmetros marcados necessitam de uma avaliação prévia para sua aplicação adequada.

4.2. Superposição com mapa de ventos

O território mineiro apresenta velocidades médias de vento da ordem de 2,8 a 4,4 m/s a 10 m de altura. No noroeste do estado, bem como nas regiões centro-oeste e extremo sul, ocorrem as velocidades mais baixas, da ordem de 2,8 m/s. Entretanto, há uma faixa na porção central até o norte do estado onde ocorrem velocidades altas, da ordem de 5 a 6 m/s; também se observam velocidades mais altas no triângulo mineiro e na região sudeste do estado.

Combinado com os resultados do zoneamento, como pode ser visto nas Figuras 9 a 12, observa-se que as zonas 1 e 2, onde a ventilação tem papel preponderante, apresentam grande diversidade quanto ao potencial do vento, o que poderia levar a uma reestruturação dessas zonas para identificar sub-áreas com características mais homogêneas. Nas zonas 3 e 4 as condições são mais secas, a ventilação deve ser controlada, principalmente durante o inverno, onde há necessidade de aquecimento no período noturno. Assim, deve haver maior controle da acessibilidade aos ventos nessas zonas, desde os estudos de implantação da edificação, buscando-se complementar com dados da direção predominante.

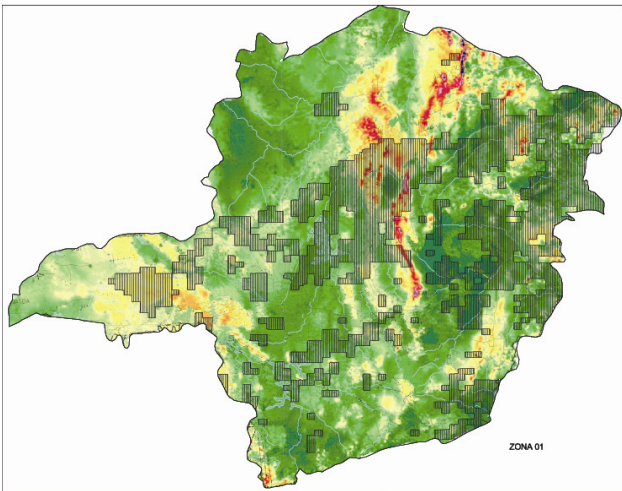


Figura 9 – Superposição do mapa eólico e Zona 1.

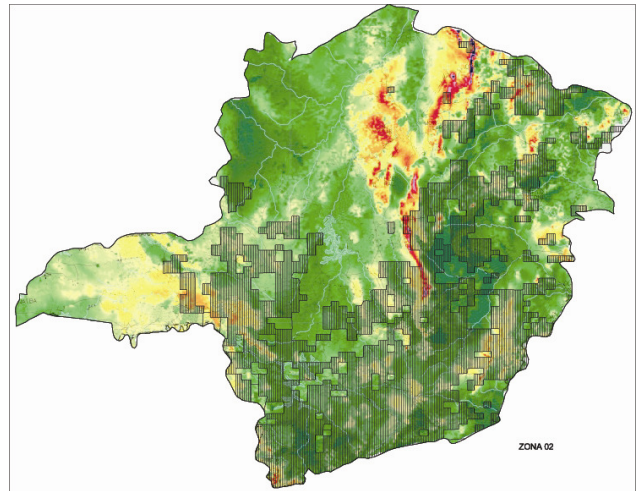


Figura 10 – Superposição do mapa eólico e Zona 2.

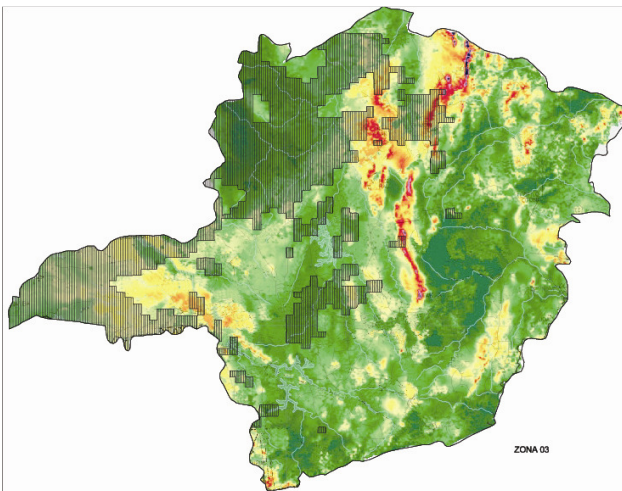


Figura 11 – Superposição do mapa eólico e Zona 3.

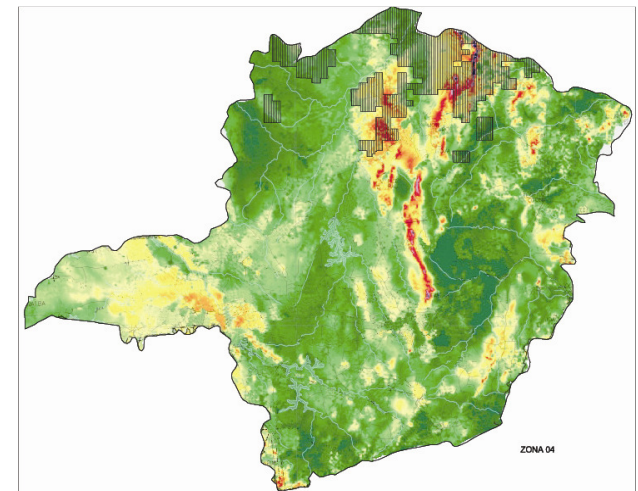


Figura 12 – Superposição do mapa eólico e Zona 4.

4.3. Superposição com mapa da NBR 15.220

A comparação com os resultados da norma brasileira sobre o estado de Minas Gerais permitiu concluir que não houve semelhança entre as zonas bioclimáticas determinadas, a menos da zona 1 com a zona 4 da norma. Isso provavelmente ocorreu devido à consideração da topografia na interpolação dos dados.

O resultado foi mais detalhado, quando comparado aos limites menos precisos da norma para o território mineiro. Isso pode ser explicado pelo pequeno número de pontos processados pela norma dentro do território mineiro, diminuindo a resolução do método de interpolação para a geração do zoneamento bioclimático. A aplicação de redes neurais para estimativa dos dados climáticos, considerando, ainda, a altitude, permitiu trabalhar com um número maior de pontos dentro do estado, aumentando a exatidão dos resultados e dos limites de cada zona.

Além disso, o trabalho teve um resultado mais abrangente, originando apenas 4 zonas quando comparado às 6 zonas previstas pela norma para o território mineiro. Isso se deveu provavelmente ao uso de um número limitado de recomendações, isto é, apenas aquelas constantes das Tabelas de Mahoney.

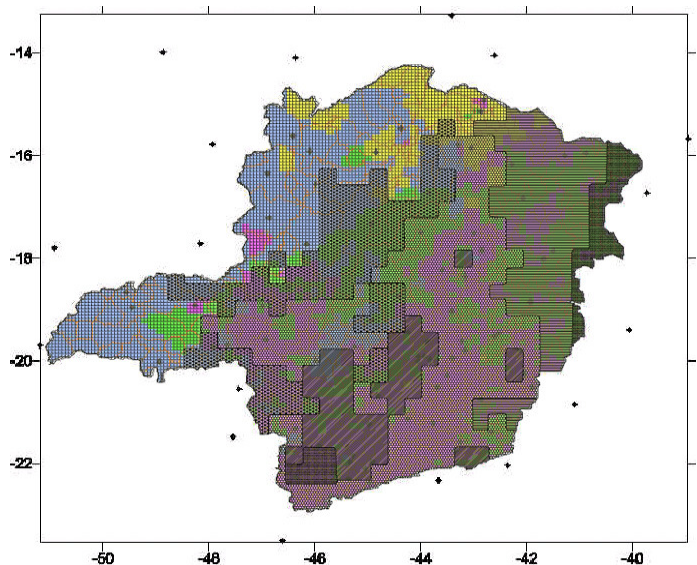


Figura 13 – Comparação resultados da pesquisa (colorida) e da norma (preto e branco).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível verificar a importância de determinar critérios metodológicos para a definição de zonas bioclimáticas, principalmente para o estado de Minas Gerais, dada a sua grande diversidade climática. Os resultados encontrados na norma brasileira (NBR 15.220) e neste trabalho demonstraram essa heterogeneidade, sendo que a primeira estabeleceu 6 zonas bioclimáticas para o território mineiro – de um total de 8 zonas definidas para o Brasil; e a segunda produziu 4 zonas distintas. Nesse sentido, o trabalho reforça a importância do estudo do clima no processo projetual arquitetônico, uma vez que essas diferenciações climáticas alteram consideravelmente as recomendações e estratégias de condicionamento térmico para cada localidade.

O uso das redes neurais artificiais possibilitou o complemento dos dados climáticos do estado de Minas Gerais, cujo território ainda é deficiente de cobertura de estações medidoras. O emprego das Tabelas de Mahoney permitiu a produção de recomendações construtivas adequadas e voltadas para a fase de pré-projeto. E por fim, a introdução da variável vento permitiu um refinamento na análise das zonas bioclimáticas estabelecidas, potencializando assim o uso da ventilação natural em algumas áreas para atingir o condicionamento térmico das edificações.

Este trabalho pode ainda ser aprimorado por meio de estudos do cruzamento dos resultados obtidos com dados detalhados da direção dos ventos e outros estudos sobre índices de conforto aplicados às diversas localidades do estado de Minas Gerais, o que aumentaria a confiabilidade das recomendações, bem como melhoraria as condições de conforto e eficiência energética nas edificações.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.
- BASTOS, L. E. G.; KRAUSE C. B.; BECK L. Estratégias de Ventilação Natural em Edificações de Interesse Social e a Norma ABNT 15.220: Zoneamento Bioclimático x Potencial Eólico Brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9º, 2007, Ouro Preto. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFMG, 2007, p. 172 – 180. CD-ROM
- BOGO, A. J. Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social. In: NUTAU 2008: O ESPAÇO SUSTENTÁVEL – INOVAÇÕES EM EDIFÍCIOS E CIDADES, 2008, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2008. CD-ROM.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas 1961-1990**. Brasília: Dep. Nacional de Meteorologia, 1992.
- ELETOBRÁS. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm. Acessado em Junho/2008.
- GIVONI, B. Comfort, climate and building design guidelines, **Energy and Buildings**, n. 18, 1992, p. 11-23.
- GONÇALVES, W. B.; RIBEIRO, M. A.; ASSIS, E. S. et al. 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 CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7º, 2003, Curitiba. **Anais...** São Paulo: ANTAC/PUC-PR, 2003, p. 241-248. CD-ROM
- PEREIRA, I.; ASSIS, E. S. Discussão da classificação bioclimática de Belo Horizonte proposta pelo projeto de norma de desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8º, 2005, Maceió. **Anais...**, São Paulo: ANTAC/UFAL, 2005a, p. 1490-1498. CD-ROM.
- PEREIRA, I.; ASSIS, E. S. Discussão das estratégias propostas pelo projeto de norma de desempenho térmico de edificações através de estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8º, 2005b, Maceió. **Anais...**, São Paulo: ANTAC/UFAL, 2005b, p. 1480-1489. CD-ROM.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5º, 1999, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFCE, 1999, 10 p. CD-ROM.
- SILVA, A.C.S.B., **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para fins de Edificações**. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Rio Grande do Sul, 1994.
- 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, In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12º, 2008, Fortaleza. **Anais...**, São Paulo: ANTAC/UFCE, 2008, 10 p. CD-ROM.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro, através do Convênio EDT 2168, ao Instituto de Informática da PUC-MG pelo desenvolvimento do programa RNA-Clima e ao 5º Distrito de Meteorologia pelo fornecimento dos dados meteorológicos.