

VARIÁVEIS DO CLIMA URBANO: ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL E PROGNÓSTICOS PARA A REGIÃO DO BAIRRO BELVEDERE III, BELO HORIZONTE, MG

Jacqueline Alves Vilela; Eleonora Sad Assis; José Eustáquio M. de Paiva

Escola de Arquitetura da UFMG, Rua Paraíba, 697, CEP: 30130140, Belo Horizonte, MG, e-mails:
arqjacvilela@gmail.com; elsad@arq.ufmg.br; jempaiva@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar o impacto gerado pela aplicação de um modelo de assentamento previsto na legislação de uso e ocupação do solo sobre variáveis do clima urbano. Estabeleceu-se uma relação empírica entre parâmetros climáticos (temperatura e umidade relativa) e parâmetros urbanísticos (massa construída e fator de visão do céu), numa área urbana entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, MG. Para estabelecer a comparação entre o comportamento dessas variáveis foram aplicadas as técnicas de cenários, gerando um cenário correspondente à situação da ocupação existente em 2006 e o segundo cenário, projetado para 2016, baseado na possibilidade de ocupação permitida pelas referidas leis dos municípios envolvidos. Identificaram-se algumas mudanças que poderão ocorrer nas variáveis climáticas, relacionando-as às novas condições de adensamento simuladas para a região. Os resultados apontam uma tendência de ocorrer alterações mais significativas nas áreas onde o adensamento e a verticalização são mais vigorosos, porém parece que o arranjo entre os edifícios e a permeabilidade aos ventos são os fatores mais importantes para a manutenção das condições ambientais favoráveis. O procedimento desenvolvido mostrou-se capaz de simular as alterações das variáveis climáticas em função da alteração das variáveis urbanas, integrando assim, o estudo do clima urbano ao planejamento das cidades.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the impact of an urban development on the variables of the urban climate. The climatic variables involved were air temperature and relative humidity. They were related with the urban fabric variables of construction mass and sky view factor through empirical equations, in an area of urban real estate boom between the cities of Belo Horizonte and Nova Lima, Brazil. Using the techniques of scenarios, two scenarios were developed: the first one corresponding to the local situation in 2006 and the second one, projected to 2016, based on the construction potential provided by the municipalities laws of land use and occupation. Some changes on the local climate variables were identified. The increase of construction density and the geometry arrangement among the buildings were observed as the main aspects to cause changes in the local horizontal spatial distribution of the air temperature and humidity. This methodology could be applied to evaluate the impact of the urban planning and legislation on the future climatic conditions of the area.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de adensamento e verticalização das áreas urbanas são capazes de provocar impactos sobre o clima local, principalmente ao se considerar os fenômenos que acontecem na camada limite ao nível das coberturas (UCL - Urban Canopy Layer). Segundo Oke (1986), a morfologia e a geometria urbanas, as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções, a proporção entre as áreas construídas e as áreas verdes, e a poluição da atmosfera são as principais variáveis envolvidas na alteração do balanço energético local. Em estudo anterior, Oke (1981) demonstrara que a geometria urbana e a inércia térmica parecem ser os fatores preponderantes na formação da ilha de calor urbana. Com relação à geometria urbana que pode ser descrita pelo FVC (fator de visão do céu) ou o ângulo de obstrução do horizonte em um dado

ponto, demonstrou-se que, quanto mais obstruído é um local no meio urbano, menor é a capacidade de troca térmica por radiação (OKE, 1981), o que conseqüentemente, favorece a formação da ilha de calor, enquanto fenômeno noturno, nas áreas mais adensadas. Com relação à inércia térmica, sabe-se que as construções armazenam parte do calor durante o dia, dissipando-o à noite. Tso et al. (1990) demonstraram a relação entre o aumento da massa construída (MC), a redução das perdas térmicas convectivas e o aumento de temperatura nos centros urbanos. Isto evidencia a importância de se analisar a influência do adensamento e verticalização das áreas urbanizadas na alteração do clima local.

Apesar dos vários estudos sobre a influência do processo de urbanização sobre o clima, ainda é deficiente a aplicação desses estudos ao planejamento urbano, com vistas a desenvolver metodologias capazes de auxiliar na melhoria da qualidade ambiental urbana. Sendo assim, é necessário desenvolver uma abordagem mais aprofundada acerca do ambiente térmico urbano, relacionando o processo de urbanização e as alterações climáticas locais, de modo a permitir analisar as conseqüências de tais alterações no conforto ambiental e na economia das cidades. Desta forma, este estudo irá analisar o impacto gerado pela aplicação de um modelo de assentamento previsto na legislação de uso e ocupação do solo das cidades envolvidas sobre variáveis do clima urbano, buscando estabelecer uma relação entre parâmetros climáticos (temperatura e umidade relativa) e parâmetros urbanísticos (massa construída e fator de visão do céu).

2-ÁREA DO ESTUDO DE CASO

A área do estudo de caso situa-se na porção sul da cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, em uma região limítrofe com o município de Nova Lima (Figura 1 e Figura 2). Apresenta uma área de urbanização consolidada, correspondente ao Bairro Belvedere III (Belo Horizonte) e uma área em processo de urbanização acelerada, mas ainda não consolidada representada pelos Bairros Vila da Serra e Vale do Sereno (Nova Lima). Os Bairros tiveram, desde sua aprovação, sua implantação questionada em função da ocupação de alta densidade permitida e da localização proposta sobre a Serra do Curral, patrimônio tombado e área de recarga do Aquífero Belo Horizonte. O Bairro Belvedere III foi desde a sua implantação um sucesso imobiliário e teve sua população dobrada em apenas quatro anos (2000-2004) segundo dados da Associação dos Moradores do bairro Belvedere III. Como praticamente não existem mais lotes para futuras incorporações, o setor imobiliário vê na área vizinha, Vila da Serra e Vale do Sereno, sua saída para expansão urbana. Por sua vez, os Bairros Vale do Sereno e Vila da Serra localizam-se junto à reserva florestal da Mata da Jambreiro e é, segundo Ferreira; Assis (2006), área de entrada dos ventos para a cidade de Belo Horizonte.



Figura 1- Vista aérea da área de estudo

Fonte: Elaborado pelas autoras baseado em GOOGLE EARTH, 2007



Figura 2 – Foto Serra do Curral e bairro Belvedere III, barreira à entrada dos ventos

Fonte : arquivo das autoras

Pelo exposto, percebe-se que a área de estudo apresenta vários indicativos de problemas relacionados ao conforto térmico urbano com implicações em toda a cidade e região metropolitana. Nesse contexto é importante ressaltar que qualquer intervenção no meio urbano pressupõe, como recurso indispensável ao planejamento, a investigação climática. E é sob esse enfoque que se fundamenta e se justifica a presente pesquisa, já que a avaliação das condições de conforto térmico urbano constitui um aporte significativo para o planejamento, tendo em vista as diversas demandas de que se prescinde para viver na cidade.

3. METODOLOGIA

A concepção metodológica deste trabalho considera o diagrama elaborado por Echenique (1975), onde a tomada de decisão em planejamento requer que se passe antes por modelos preditivos e explorativos da realidade, que têm um desenvolvimento temporal. Assim, para integrar os conhecimentos do clima urbano à dinâmica espacial da cidade, foram elaborados dois cenários de estudo.

O Cenário 1 teve como objetivo identificar e avaliar a situação existente na área de estudo em 2006. Foram levantados em campo os dados climáticos de temperatura e umidade relativa, relacionados posteriormente aos parâmetros urbanísticos. A coleta de dados em campo foi realizada em dia típico de inverno, ou seja, um dia de céu claro, nenhuma nebulosidade e calmaria (OKE, 2004). A área do estudo foi dividida em dois circuitos fechados de medições móveis, cada qual compreendendo vários pontos de medida dos dados climáticos. Foi escolhido um ponto comum aos dois circuitos como referência para a distribuição posterior do erro pela não simultaneidade das medições (Figura 3). Estas foram feitas num período de 24 horas, a cada três horas, iniciando às 15:00 (SEZERINO e MONTEIRO, 1990; ASSIS, 2000), depois às 18:00 e 21:00; 06:00, 09:00 e 12:00 do dia seguinte. Para coletar os dados de temperatura e umidade relativa foi utilizado um termohigrômetro digital Salcas Higtotemp.

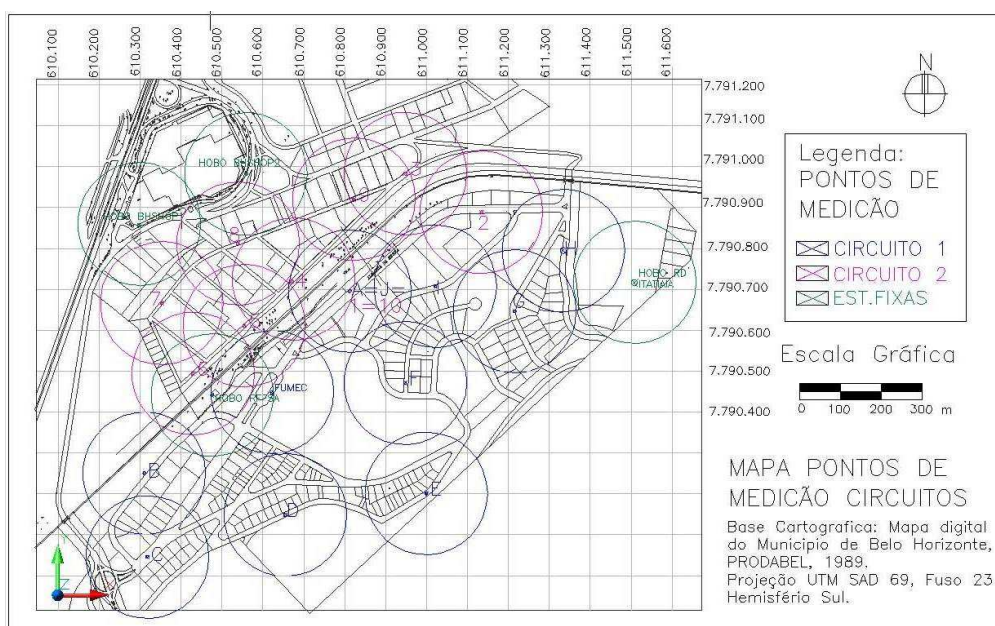


Figura 3 - Mapa de localização dos pontos (fixos e móveis) de coleta de dados de temperatura, umidade relativa, FVC e MC, para os dois cenários.

Além dos pontos dos dois circuitos descritos acima, estabeleceram-se quatro pontos fixos, que foram monitorados através de termohigrômetros digitais, marca Hobo, modelo U12. Os equipamentos foram protegidos por caixa de madeira, com pintura branca, com placa de isopor situada entre a parede de fixação e a caixa de madeira e perfurada de forma a permitir a ventilação do equipamento interno (Figura 4). Foi fixado a uma altura de 1,5 metros, conforme indica a literatura e programado para colher os dados de temperatura e umidade relativa a cada 30 minutos, durante as 24 horas que coincidiram com a corrida nos circuitos.



Figura 4- Equipamento Termohigrometro Data Logger, marca Hobo, para pontos fixos.

Fonte: Arquivo das autoras

Para o cálculo da MC, foram levantados os dados de todas as edificações existentes na área de estudo no ano de 2006 (Figura 5) e calculado o volume de concreto das edificações, conforme método indicado por Tso et al (1990). Considerou-se todas as construções compostas por concreto, devido às propriedades térmicas semelhantes a outros materiais de construção comuns, espessura de 0,10 m para as lajes e 0,20 m para as paredes externas. Considerou-se para o cálculo da altura das edificações, o pé-direito igual a 2,90 m somados à espessura da laje de 0,10 m totalizando uma altura média de pavimento igual a 3,00 m.



Figura 5: Volumetria levantada no Cenário 1, em 2006.

Fonte: Vilela (2007).

Para a coleta das imagens necessárias para o cálculo do FVC foi utilizada uma câmera fotográfica Nikon Coolpix 5400, acoplada a lente “olho-de-peixe”, que produz imagens em projeção estereográfica (Figuras 6 e 7).

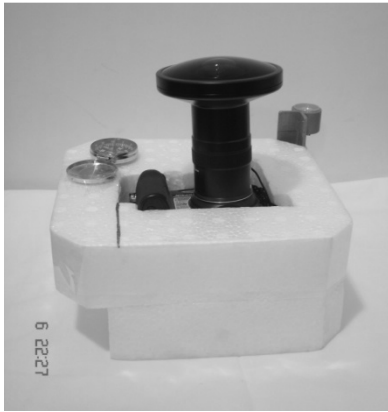


Figura 6 - Aparato para fotografia do FVC
Fonte: Arquivo das autoras



Figura 7 - Aparato para fotografia FVC locado no eixo da via
Fonte: Arquivo das autoras

Usando um programa CAD, desenhou-se sobre estas imagens a polilinha correspondente ao contorno da obstrução causada pela geometria urbana e calculou-se a área de céu visível, aplicando-se sobre o desenho um diagrama do fator de forma da hemisfera em projeção estereográfica, em cada ponto (Figura 8). Assim foram calculados para cada ponto todos os valores do FVC.

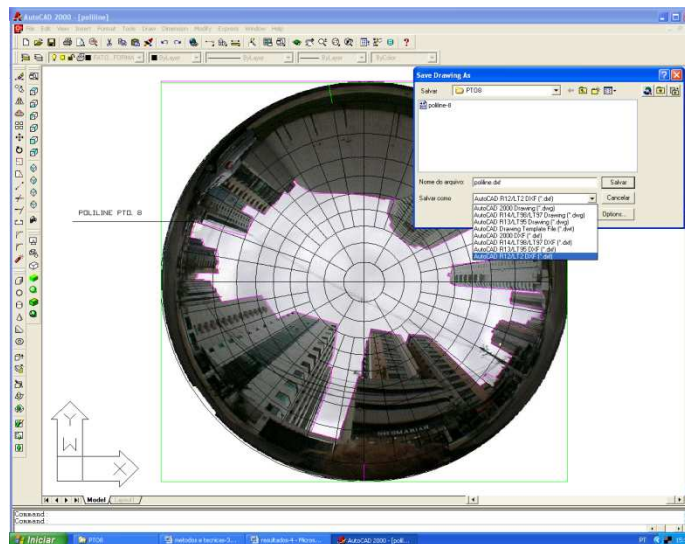


Figura 8 -Tela Autocad com foto FVC e polilinha

Fonte: Arquivo das autoras

Com os dados coletados, estabeleceu-se a correlação existente entre as variáveis climáticas (temperatura e umidade) e as variáveis urbanas (MC e FVC), foi utilizado o método estatístico de análise de regressão. Este processo estatístico é o ideal para ser usado quando se deseja pesquisar o efeito simultâneo de várias variáveis, principalmente quando os dados provêm de um estudo observacional (WONNACOTT, 1985). Com este intuito, foi utilizado o software Statgraphics, versão 15. Adotaram-se como variáveis dependentes ou variáveis resposta, as variáveis climáticas e como variáveis independentes ou covariáveis, as variáveis urbanas. Desta forma, e conforme mostram os resultados, ficaram definidas as equações que correlacionam T (temperatura) e UA (umidade absoluta) em função da MC e FVC no Cenário 1.

Para a geração do Cenário 2, cenário tendencial mais provável, foi utilizada a *técnica de cenários* (MAKRIDAKIS *et al*, 1983), método para projetar futuros possíveis com base na identificação e organização dos dados considerados principais, para um número limitado de situações possíveis. Foram também estabelecidos alguns critérios para essa projeção, tais como: considerar a situação de ocupação máxima permitida pelas LUOS (Lei de Uso e Ocupação do Solo) dos dois municípios; incluir os projetos já

aprovados pelas prefeituras locais, tais como projetados, mas ainda não edificados em 2006 e adotar como referência temporal e horizonte de prognose os próximos 10 anos, ou seja, o ano de 2016. Foram observados os parâmetros urbanísticos e as tendências detectadas em estudo para cada quadra, já que as mesmas tinham características bastante diferentes (Figura 9). Para o cálculo da MC levou-se em consideração, mais uma vez, o volume de concreto gerado na nova situação.

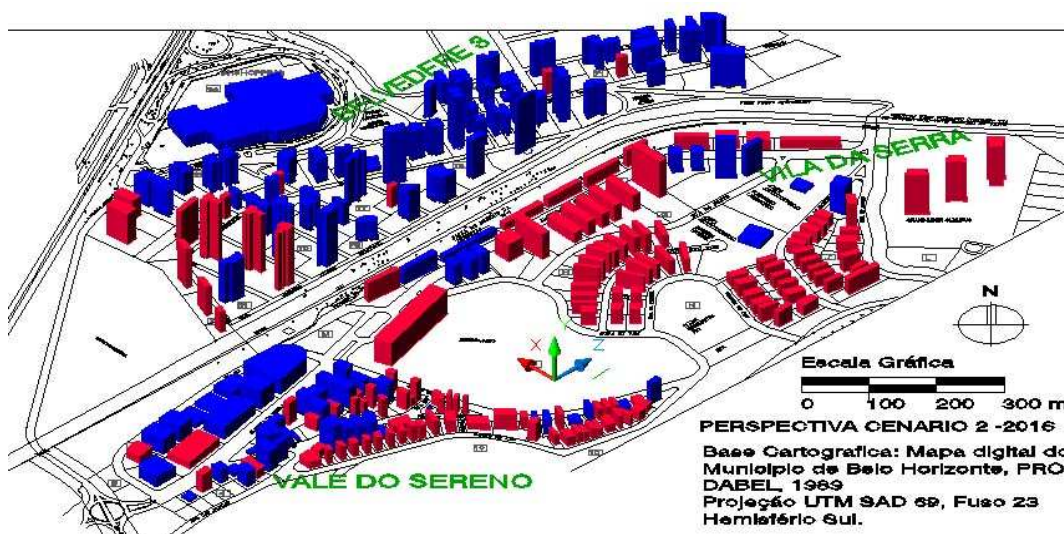


Figura 9: Volumetria estimada para o Cenário 2, em 2016 em vermelho.
Fonte: Vilela (2007).

Como não era possível obter-se o FVC para o Cenário 2 através da utilização da câmera com a lente olho-de-peixe, devido à virtualidade deste Cenário, optou-se pela utilização do SIG Arcview®, versão 3.2, para o qual foi desenvolvida uma extensão denominada 3DSkyView (SOUZA, 2003) que permite a representação espacial de um recinto urbano e o cálculo do FVC a partir deste modelo virtual da área de estudo (Figura 10).

Uma vez determinadas as equações de regressão no Cenário 1 entre as variáveis climáticas (temperatura e umidade absoluta – esta última calculada a partir da umidade relativa medida no local e da pressão atmosférica registrada na estação meteorológica principal da cidade) e as variáveis urbanas, obtém-se, no Cenário 2, com as novas MC e FVC calculadas, a estimativa das novas temperaturas e umidades absolutas, em cada ponto neste cenário futuro. As novas umidades relativas foram posteriormente calculadas a partir da estimativa dessas umidades absolutas, em cada ponto.

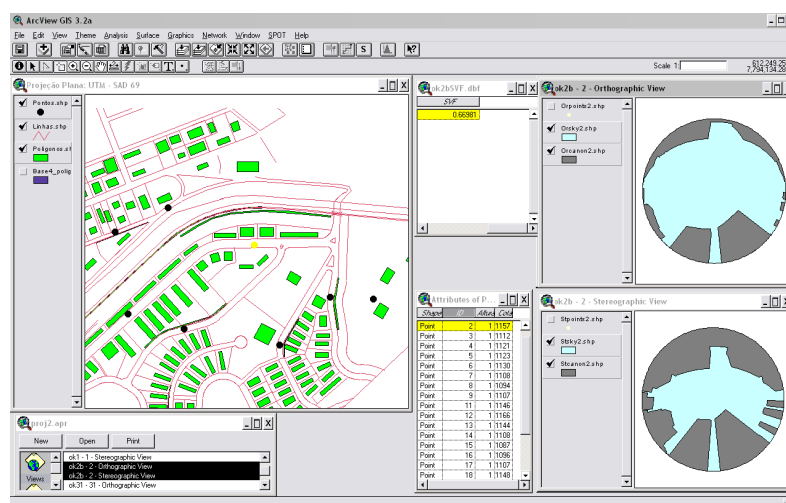


Figura 10 : FVC em ponto do Cenário 2.
Fonte: Vilela (2007).

4. RESULTADOS

Foram inseridos os dados climáticos por horário de coleta e os dados urbanos já calculados e encontrados para o Cenário 1, no software estatístico Statgraphics 15. A análise de regressão múltipla elaborada pelo software Statgraphics apresentou como resultado as Equações 1 e 2 para o Cenário1, descritas abaixo:

$$T = 24,7296 - 5,80921 \times FVC + 0,933171 \times MC \quad \text{Equação 1}$$

$$UR = 27,0891 + 14,8279 \times FVC - 1,7542 \times MC \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

T= Temperatura corrigida no ponto(°C);

UR = Umidade Relativa corrigida no ponto(%)

FVC = Fator de Visão do Céu no ponto

MC= Massa Construída (fator) no ponto

Observa-se pelos resultados, que o coeficiente de correlação para a variável T é de 69,87% e que o coeficiente de correlação para a variável UR é de 48,38 %. Foi observado também, no teste de correlação que a variável FVC é mais significativa para o modelo que a variável MC apesar de que, tanto a variável MC, quanto a variável FVC não estão significativamente associadas a variável UR. Dessa forma, o modelo a ser proposto para estimativa da umidade relativa do ar, foi gerado pela regressão linear, levando-se em consideração apenas uma variável explicativa FVC ou MC e os resultados das Equações 3 e 4 são apresentados abaixo:

$$UR = 24.2174 + 17.3744 \times FVC \quad \text{Equação 3}$$

$$UR = 41.4799 - 7.14266 \times MC \quad \text{Equação 4}$$

Observa-se pelos resultados da análise de regressão linear que, o coeficiente de correlação para a variável UR x FVC é de 68,89%.

Determinadas das equações de correlação das variáveis climáticas(T e UR) em função das variáveis urbanas, no Cenário 1 e obtidos, através do Cenário 2, as novas MC e FVC foi possível determinar as novas temperaturas e umidades relativas, por ponto. Cabe lembrar que as equações 1,2, 3 e 4 que serão aplicadas, foram determinadas para o horário das 21 h, que melhor caracteriza o fenômeno da ilha de calor urbana e que para a aplicação dos dados de massa construída à equação, foi feita nova parametrização admitindo-se que o maior valor corresponderia ao fator 1,0. Desta forma a Tabela 1 apresenta os valores para MC, FVC, Temperatura e Umidade Relativa para cada um dos pontos no Cenário 2.

Tabela 1 - Dados de T, UR, MC, FVC por ponto , para o Cenário 2

BAIRRO	PONTO	MC	FVC	T	UR
Vila da Serra	A	0.5	0.63	21.54	35.16
Vila da Serra	FUMEC	0.41	0.75	20.76	37.25
Vila da Serra	B	0.72	0.77	20.93	37.60
Vila da Serra	C	0.21	0.77	20.45	37.60
Vale do Serenci	D	1.00	0.74	21.36	37.07
Vale do Serenci	E	0.28	0.72	20.81	36.73
Vila da Serra	F	0.56	0.60	21.77	34.64
Vila da Serra	G	0.5	0.71	21.07	36.55
Vila da Serra	H	0.63	0.65	21.54	35.51
Vila da Serra	I	0.81	0.76	21.07	37.42
Vila da Serra	2	0.46	0.67	21.27	35.86
Belvedere III	3	0.44	0.70	21.07	36.38
Belvedere III	4	0.34	0.69	21.04	36.21
Belvedere III	5	0.28	0.65	21.21	35.51
Belvedere III	6	0.33	0.74	20.74	37.07
Belvedere III	7	0.78	0.42	23.02	31.51
Belvedere III	8	0.68	0.48	22.58	32.56
Belvedere III	9	0.58	0.47	22.54	32.38
Belvedere III	BHS 1	0.48	0.68	21.23	36.03
Belvedere III	BHS 2	0.52	0.77	20.74	37.60
Vila da Serra	RD ITA	0.45	0.78	20.62	37.77
Belvedere III	RFFSA	0.26	0.89	19.80	39.68

As novas temperaturas e umidades relativas foram plotadas sobre os mapas de adensamento dos dois Cenários, utilizando o método de *krigagem* no programa Surfer®, versão 7.0. Os resultados são os que se apresentam nas Figuras 11 a 14. Nessas figuras, que contêm a espacialização dos resultados, percebe-se:

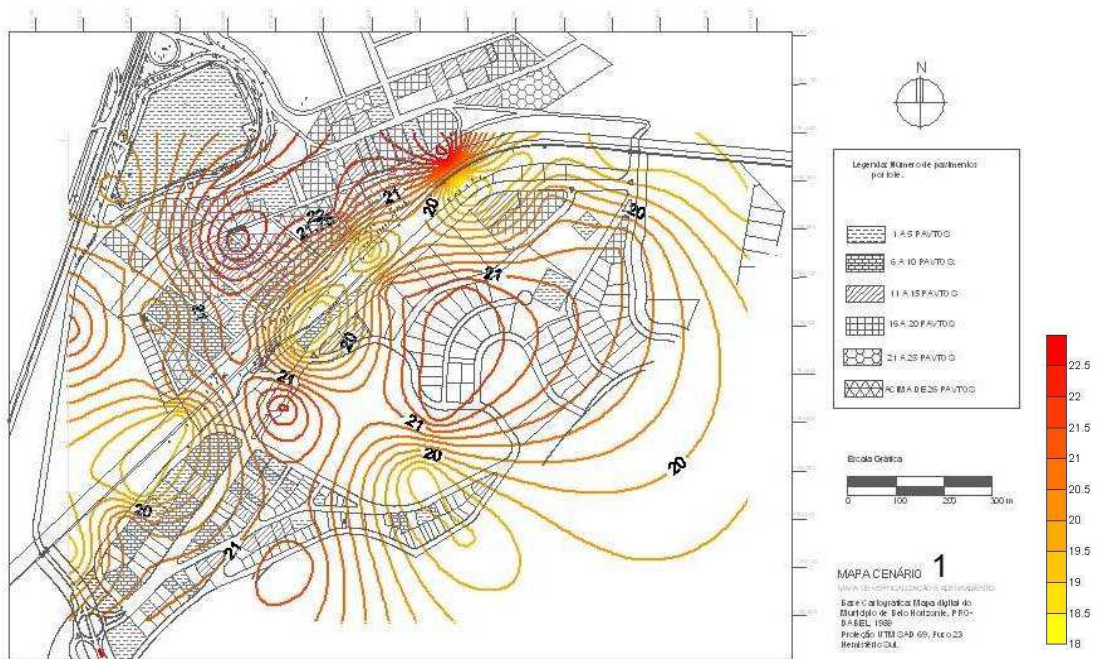


Figura 11: Temperatura para 21h, plotadas sobre mapa de adensamento Cenário 1.

Fonte: Vilela (2007).

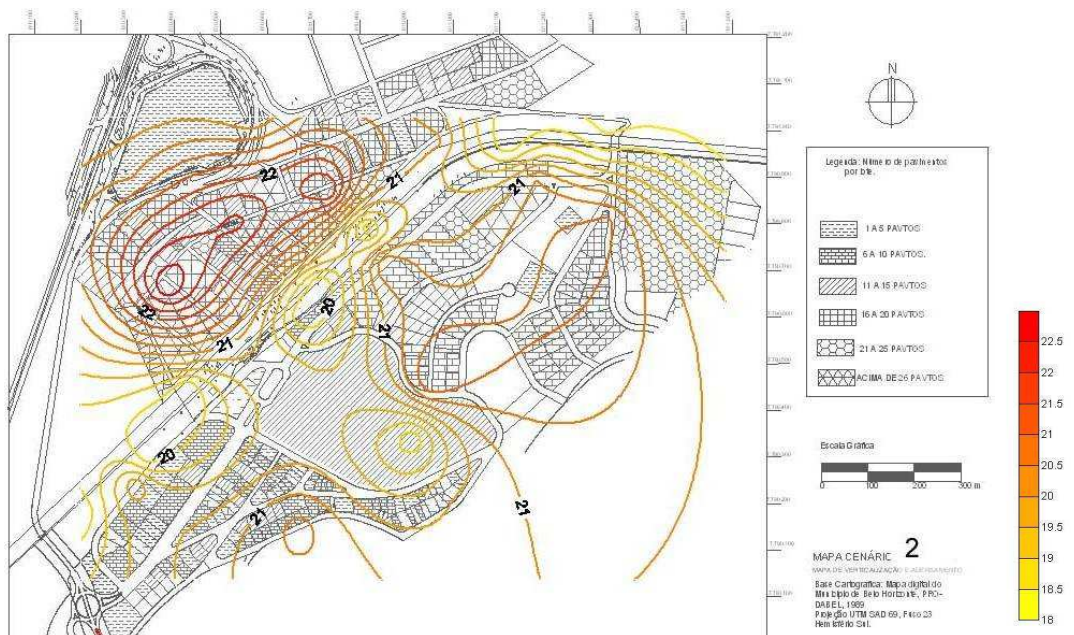


Figura 12: Temperaturas para 21h, plotadas sobre mapa de adensamento Cenário 2.

Fonte: Vilela (2007).

- A temperatura tende a ter sua amplitude diminuída de 4,63°C (18,30°C a 22,93°C no Cenário 1) para 3,22°C (19,80°C a 23,02°C no Cenário 2) havendo um aumento médio estimado de 1,05°C. Porém o resultado mais significativo é percebido na área mais adensada, onde a isolinha correspondente à temperatura de 22°C desloca-se à esquerda do mapa. Ora, nesta área, no Cenário 1, foram registradas temperaturas mais baixas, o que mostra a variação de temperatura acompanhando o adensamento da única região dentro desta área que se encontrava, em 2006, ainda não totalmente edificada e aberta à entrada de ventos. Percebe-se um aumento geral da temperatura, principalmente onde a alteração do adensamento é mais intensa.



Figura 13: Umidades para 21h, plotadas sobre mapa de adensamento Cenário 1.

Fonte: Vilela (2007).

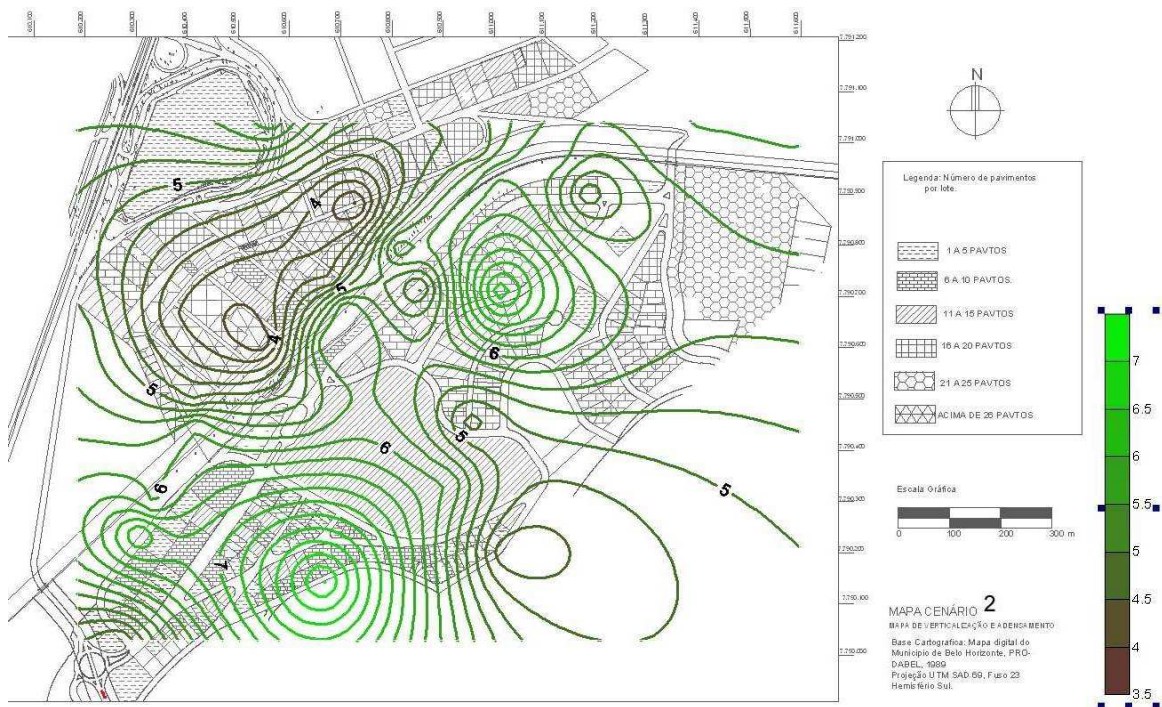


Figura 14: Umidades para 21h, plotadas sobre mapa de adensamento Cenário 2.

Fonte: Vilela (2007).

- A umidade relativa também tem sua amplitude diminuída de 10,60% (33,80% a 44,40% no Cenário 1) para 8,17% (31,51% a 39,68% no Cenário 2), ocorrendo também umidades mais baixas. No Cenário 1, percebe-se uma concentração da baixa umidade na área mais adensada. No Cenário 2, a mancha tende a se distribuir de forma mais uniforme sobre a área.

De um modo geral, as áreas com maior adensamento do Cenário 1 para o Cenário 2 são as que sofrem as maiores alterações das variáveis climáticas, o que recomendaria a revisão da legislação construtiva local para evitar ou mitigar tais impactos no clima local.

5. CONCLUSÕES

A hipótese do incremento da temperatura e da diminuição da umidade com o aumento da MC e diminuição do FVC nas áreas de ocupação densa e verticalizada foi confirmada, porém não ocorreu uma piora generalizada nas condições climáticas. Parece que a morfologia urbana, determinando um certo arranjo entre os edifícios e a permeabilidade aos ventos são fatores mais importantes do que o adensamento local, para a manutenção das condições ambientais favoráveis. Também foi observado que, nas condições estudadas, o FVC teve uma influência maior que a MC na correlação com os parâmetros climáticos.

Este trabalho foi desenvolvido através de um modelo de simulação empírico que, apesar dos limites, foi capaz de fornecer tendências de comportamento e previsões de alterações climáticas para a área, tendo em vista a alteração da MC e do FVC, que são parâmetros facilmente controláveis pelas LUOS. Esse tipo de abordagem mostrou ser promissor para a integração do estudo do clima urbano ao planejamento das cidades, auxiliando os planejadores urbanos nas tomadas de decisões que envolvem a qualidade ambiental urbana.

É importante, no entanto, dar continuidade a este estudo incorporando novas variáveis, além de desenvolver novos Cenários de prospecção para a área para que este procedimento se torne uma ferramenta para auxiliar os planejadores urbanos nas tomadas de decisões que envolvem o clima urbano.

6. REFERÊNCIAS

- ASSIS, E. S. Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. Tese - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ECHENIQUE, M. Modelos: una discusión. In: MARTIN, L.; MARCH, L.; ECHENIQUE, M. **La Estructura del Espacio Urbano**. Barcelona, G. Gili, 1975, p. 235-248.
- FERREIRA, D.G., ASSIS, E.S. Natural Ventilation in urban áreas: the case of Belo Horizonte City, MG. In: **International Conference On Urban Climate**, 2006, Göteborg – Preprints ... Göteborg: Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, 2006, v-1, p. 623-626
- MAKRIDAKIS, S. et al. **Forecasting: methods and applications**. 2 ed., New York, John Wiley, 1983.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation. *International Journal of Climatology*, v. 1, 1981, p. 237-254.
- OKE, T. R. The technical conference on urban climatology and its applications with special regard to tropical areas. México, 1984, Proceedings... Genova, World Meteorological Organization (WMO, no. 652), 1986.
- OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Geneva, 2004.
- SEZERINO, M. L.; MONTEIRO, C. A. F. O campo térmico da cidade de Florianópolis: primeiros experimentos, *GEOSUL*, n. 9, 1990, p. 20-60.
- SOUZA, L. C. L. Determinação e representação do fator de visão do céu através de um SIG 3D. Tese livre-docência em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2003.
- TSO, C. P. et al. An improvement to energy balance model for urban thermal environment analysis. *Energy and Buildings*, n. 14, 1990, p. 143-152.
- VILELA, J. A. Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG. Dissertação - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- WONNACOTT, R.J.; WONNACOTT, T.H. Fundamentos de estatística. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.