

O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e h grico

*Wellington Lopes Assis¹
Magda Luzimar de Abreu²*

RESUMO: Este trabalho analisa o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar no município de Belo Horizonte em dois trabalhos de campo, período seco e chuvoso. Foram distribuídos abrigos meteorológicos na capital mineira, abrangendo tipologias de uso do solo e unidades morfológicas diferenciadas. Os resultados permitiram identificar três núcleos de aquecimento contínuo no tecido urbano, observados tanto no per -

odo seco como no chuvoso, sendo que no seco os gradientes térmicos horizontais foram mais intensos. De modo geral, as ilhas de calor coincidiram com os locais mais adensados e impermeabilizados do município. No entanto, sob atua o de sistemas atmosféricos instáveis, com ocorrência de chuvas e ventos moderados, as ilhas de calor se desintensificavam, diminuindo as amplitudes térmicas entre os pontos amostrais.

PALAVRAS-CHAVE: Clima urbano. Ilha de calor. Campo térmico e h grico.

I. INTRODU O

Nas últimas décadas, a comunidade científica vem alertando a sociedade para as a o es antrópicas, que podem resultar em efeitos de dimensões globais. Em determinadas partes do sistema Terra-Atmosfera, existem indícios de que o clima do planeta está passando por mudanças, ainda que não haja consenso total sobre as causas que estariam desencadeando esses processos, podendo ser fruto de a o es recentes do homem no ambiente (IPCC, 2007) ou de ciclos que se repetem naturalmente (ROE, 2006). Entretanto, no que se refere às modifica o es registradas na atualidade, a maioria dos autores alerta para o fato de que tais mudanças ocorrem em ritmo acelerado.

As preocupa o es em torno destas altera o es climáticas, oriundas basicamente

¹Doutorando do Programa de Pós-Gradua o do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da UFMG, Pesquisador da Rede Clima. Email: assisw@gmail.com

²Doutora em Meteorologia pela Pennsylvania State University. Professora do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Email: magda@csr.ufmg.br

mente dos processos de urbanização e industrialização, têm resultado em investigações que permitem relacionar, com certa segurança, os efeitos no clima local. Perturbações nos mecanismos de troca de calor entre a superfície e a atmosfera geram desequilíbrios, alterando a dinâmica do ar e, portanto, as características do clima, especialmente em nível local (MONTEIRO, 1976; OKE, 1978; LANDSBERGE, 1981). As regiões metropolitanas de grandes dimensões e de considerável diversificação espacial apresentam modificações mais expressivas nos parâmetros meteorológicos.

O município de Belo Horizonte apresenta peculiaridades naturais e sociais que formam um universo de análise extremamente favorável ao estudo do clima urbano. Possui feições geográficas que contribuem não só para diferenciações topo e mesoclimáticas em espaços relativamente próximos, como para a exacerbação de problemas resultantes da degradação ambiental, tais como formação de ilhas de calor e concentração de poluentes. As implicações do rápido desenvolvimento econômico da cidade, sua expansão espacial e o crescimento demográfico vêm sendo sentidos pelas constantes degradações ambientais, tanto em nível municipal como metropolitano. Um exemplo prático pode ser constatado pela diminuição das áreas verdes nos bairros periféricos e pelo aumento contínuo de particulados e contaminantes na atmosfera belorizontina.

O objetivo desta pesquisa foi analisar as variabilidades temporais e espaciais da temperatura e umidade relativa do ar no município de Belo Horizonte durante alguns dias do período seco e chuvoso, conhecendo as formas de interações entre topografia-morfologia e o uso do solo na dinâmica do campo térmico e hídrico.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Foram realizados dois experimentos de campo distribuídos ao longo dos períodos seco (outono-inverno) e chuvoso (primavera-verão). Coletaram-se dados meteorológicos em intervalos horários a 1,5m da superfície, sob condições atmosféricas estáveis e instáveis. Os registros de temperatura e da umidade relativa foram realizados por termo-higrômetros datalogger fabricados pela TFA Dostmann/Wertheim®, modelo 30.3015, instalados em abrigos meteorológicos de campo (Figura 1a). A direção dos ventos foi obtida com auxílio de uma fita presa na haste do abrigo, marcada com os pontos cardeais. Para a estimativa da intensidade do vento, utilizou-se a escala Beaufort.

Vinte abrigos meteorológicos foram distribuídos ao longo do município (Figura 1b). Utilizaram-se como critério para escolha dos pontos amostrais o uso do solo predominante e as características topográficas e morfológicas do sítio belorizontino. O primeiro experimento ocorreu entre os dias 21 e 30 de agosto de 2008 e o segundo entre os dias 3 e 18 de março de 2009. Como referência da atmosfera “não comprometida” pela urbanização, foram utilizadas informações das seguintes estações meteorológicas: Uni-BH (P21), SIMGE/IGAM/INPE-CPTEC (P22), Aeroporto da Carlos Prates (P23), 5°DISME/INMET (P24), Estação Ecológica UFMG (P25), Aeroporto da Pampulha (P26). A questão foi verificar quais seriam as áreas do tecido urbano que apresentariam os maiores ganhos térmico e até que

ponto o centro da cidade, suposto como de maior adensamento de edificações e de menor área verde, responderia termicamente de modo diverso das estações meteorológicas oficiais e das principais áreas verdes intra-urbanas.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

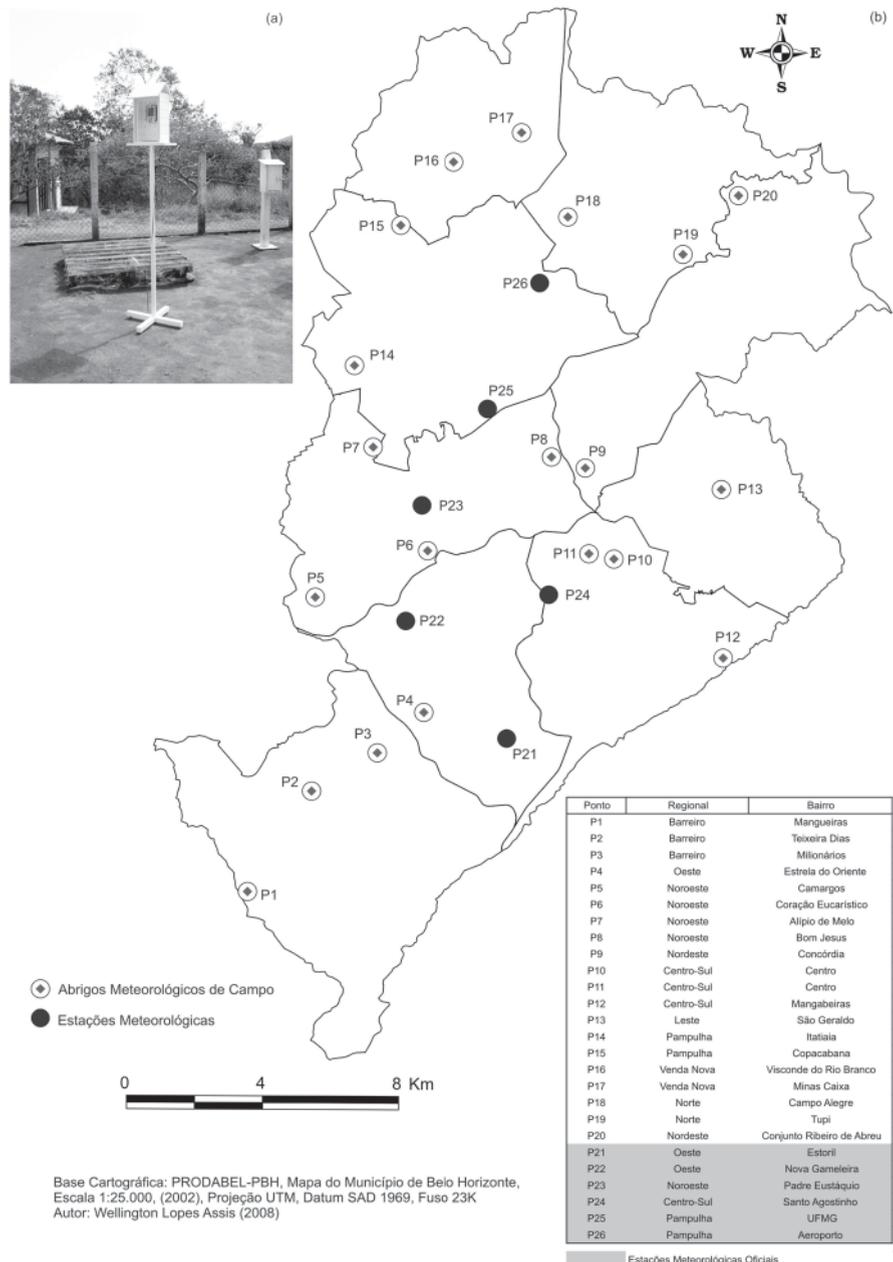
No primeiro experimento (18/08/2008 e 30/08/2008), as condições meteorológicas do município de Belo Horizonte foram marcadas por tipos de tempo estáveis com pouca nebulosidade e ventos fracos, situação ideal para realização de experimentos em climatologia urbana. A exceção destas condições atmosféricas refere-se aos dias 30 e 31 de agosto quando da atuação de perturbações sinóticas de mesoescala. Os índices pluviométricos ficaram um pouco abaixo ou próximos da normal climatológica em toda a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A atuação e permanência por alguns dias do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e do Anticiclone Polar do Atlântico Sul (APAS) no decorrer do mês de agosto resultou em baixos valores de umidade relativa do ar em várias localidades no interior do Estado de Minas Gerais.

O confronto dos dados demonstrou que a temperatura do ar e a umidade relativa se comportaram diferentemente no município. Sob a mesma condição sinótica, estes parâmetros apresentaram variações horárias segundo as características do uso do solo, morfologia urbana, topografia e disposição dos locais em relação ao movimento aparente do Sol.

Pelo mapa da temperatura média do ar, foi possível identificar os três núcleos de aquecimento contínuo e as áreas mais arrefecidas do município (Figura 2a). O primeiro núcleo de aquecimento engloba o Ponto 11 (hipercentro) e os pontos situados na periferia da região central de Belo Horizonte (P8, P9 e P13). O segundo núcleo se estende da região central da Regional Venda Nova (P16 e P17) até o extremo oeste da Regional Norte (P18), e o terceiro abarca uma pequena área localizada entre os pontos 14 (Regional Pampulha) e 7 (Regional Noroeste). Os pontos 10 (Parque Municipal) e 21 (Estação Meteorológica do UNI-BH) comportaram-se como núcleos frios em meio à região mais urbanizada e verticalizada do município. Entretanto, os locais próximos à Serra do Curral (P1, P2 e P3) e o Parque dos Mangabeiras (P12) registraram temperaturas mais amenas em relação aos demais pontos do transecto em quase todos os horários.

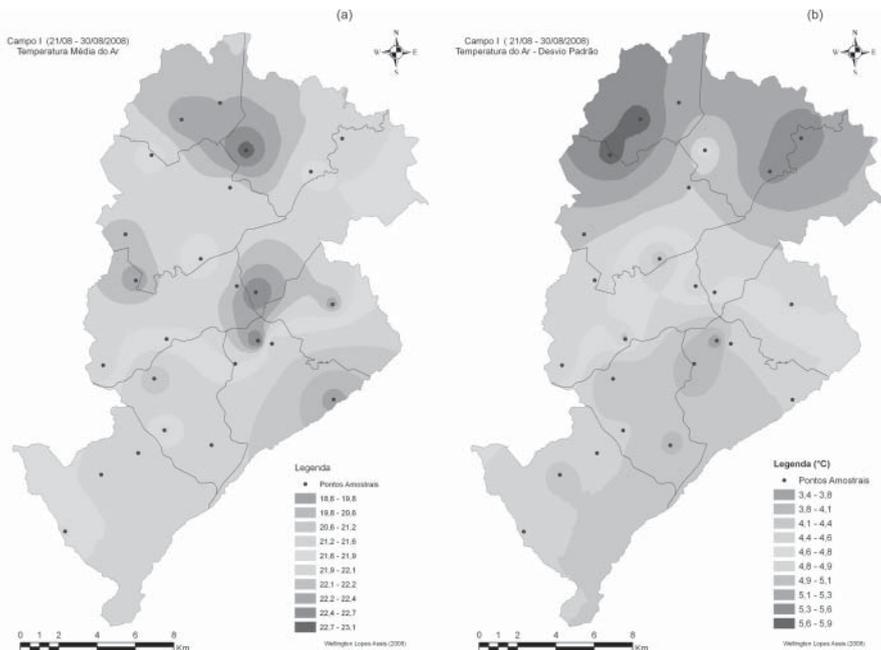
A média geral para a temperatura do ar durante o experimento foi calculada em 21,8°C, 2,8°C acima da média climatológica para o mês de agosto (19,0°C). Os maiores valores médios pontuais foram computados para os pontos 18 (bairro Campo Alegre - 23,1°C), 9 (bairro Concórdia - 23,0°C), 11 (Centro - 22,9°C) e 16 (bairro Visconde do Rio Branco - 22,5°C). Com exceção do P11, os locais acima apresentaram durante o período da tarde elevados valores térmicos, influenciando positivamente a média pontual. A menor média ficou para o ponto P12 (Parque dos Mangabeiras - 18,6°C), seguido pelos pontos P20 (Estação Meteorológica do IGAM - 20,4°C), P3 (bairro Milionários - 21,08°C) e P4 (Parque Municipal - 20,14°C). Os pontos 21 (Estação Meteorológica do Uni-BH - 21,3 °C) e 2 (bairro Teixeira Dias - 21,4°C), também ficaram abaixo da média geral.

Figura 1: Abrigo meteorológico (a) e a localização dos pontos amostrais em Belo Horizonte utilizados no 1º e 2º experimentos



Base Cartográfica: PRODABEL-PBH, Mapa do Município de Belo Horizonte, Escala 1:25.000, (2002), Projeção UTM, Datum SAD 1969, Fuso 23K
 Autor: Wellington Lopes Assis (2008)

FIGURA 2: Mapas da temperatura média do ar (a) e desvio padrão (b) do 1º trabalho de campo (18/08/2008 - 02/09/2008)



Entretanto, ao observar os mapas com as médias horárias por períodos (01h às 06h, 07h às 12h, 13h às 18h e 19h às 00h), nota-se a influência da topografia no padrão de aquecimento superficial (Figura 3), principalmente o direcionamento das vertentes em relação ao movimento aparente do Sol - característica que determina em grande parte a intensidade do aquecimento da camada limite. Entre as 07h e 17h, as porções Norte, Nordeste e Noroeste de Belo Horizonte registraram os maiores valores horários e máximos diários - possuem vales abertos e são mais expostos à radiação solar. Em contrapartida, os pontos com topografia acidentada (P1, P2, P3, P12 e P21), vales fechados e sombreados, apresentaram os menores valores horários e mínimos diários. O núcleo I (hipercentro) foi mais intenso e persistente no período noturno, expandindo sua área de atuação entre 23h e 06h. O segundo núcleo (Venda Nova-Norte) foi mais ativo no período da tarde e início da noite, restringindo sua área de influência para as proximidades do ponto 18 entre 01h e 06h. O terceiro núcleo (Pampulha-Noroeste) foi o menos intenso e o mais inconstante dos três. Além disso, apresentou uma menor abrangência espacial.

Está bem caracterizado o efeito da altitude na amenização dos ganhos térmicos para os pontos 1, 2, 3, 22 e 12. As temperaturas horárias nestes locais foram as menores e houve um maior resfriamento atmosférico durante o período

noturno. O Parque Municipal (P10) e a Estação Meteorológica do UNI-BH (P21) comportaram-se em todos os horários como núcleos frios em meio à região mais urbanizada e verticalizada do município.

Comparando-se o desvio padrão da temperatura e os valores médios deste parâmetro, observa-se que a dispersão dos dados em relação à média é relativamente baixa, de 4,7°C em média. Os maiores desvios foram identificados nas áreas limítrofes entre as regionais Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste (Figura 2b). Foram computados os seguintes valores pontuais: 5,92°C (P16), 5,88°C (P15), 5,63°C (P20) e 5,57°C (P19). Este comportamento já era esperado devido à elevada amplitude térmica total verificada nestes locais – 22,0°C (P20), 21,8°C (P15), 21,6°C (P19) e 21,0°C (P18). O menor desvio padrão ficou para o ponto P11 (3,4°C), seguido pelos pontos P22 (3,69°C), P24 (3,71°C), P21 (4,0°C) e P25 (4,1°C). É interessante notar que com à exceção do ponto 25, todos estão localizados em áreas urbanizadas e verticalizadas.

Assis (2001) já havia observado comportamento parecido para os pontos localizados no hipercentro. O calor acumulado durante o dia pelas áreas edificadas é liberado lentamente após o pôr do sol, fazendo com que o resfriamento noturno ocorra com uma menor intensidade. As construções dificultam a chegada efetiva da radiação em ondas curtas na superfície, mas minimizam a dissipação de energia em ondas longas para fora da camada de cobertura urbana (UCL). Portanto, a variação térmica ao longo do dia tende a ser menor nestes locais, favorecendo a configuração das ilhas de calor. A Tabela I exemplifica este efeito. Observa-se que os menores valores médios de aquecimento e resfriamento foram obtidos nos pontos localizados no hipercentro (P11, P24 e P10).

TABELA I: Aquecimento e Resfriamento Médio nos Núcleos Térmicos - Campo I

Núcleo I			Núcleo II			Núcleo III		
Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²	Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²	Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²
P8	14,9	8,6	P16	16,8	10,4	P7	13,8	8,3
P9	13,5	7,8	P17	13,7	8,7	P14	14,1	8,2
P10	12,9	6,9	P18	13,2	9,3	P25	10,9	7,7
P11	9,6	5,9	P26	12,7	9,6			
P13	13,6	8,7						
P24	9,0	7,0						
Média	12,2	7,5	Média	14,1	9,5	Média	12,9	8,1

¹Aquecimento entre 06h e 15h

²Resfriamento entre 18h e 06h

O valor médio geral da umidade relativa para o período foi de 52,7%, 11,8% abaixo da média climatológica (64,5%). Pelo mapa da umidade relativa média do ar (Figura 4a) é possível identificar as áreas mais úmidas e secas do município neste experimento. Como esperado, os maiores valores médios de UR% foram registrados nos locais com elevados índices de arborização ou próximos a corpos hídricos, destacando-se entre eles os pontos 15 (58,9%), 10 (58,2%), 12 (57,8%) e 20 (55,6%). Seguindo o comportamento descrito pela literatura, os menores

valores ficaram para os locais mais urbanizados e impermeabilizados, como o P9 (48,1%), P7 (49,60%), P11 (49,62%) e o P22 (49,%)

Apesar dos resultados médios citados acima, é importante salientar que o comportamento da umidade relativa foi extremamente variável em todos os períodos. Houve uma forte interferência da temperatura do ar e das características locais (exposição da vertente ao sol, topografia e uso do solo) nos índices higrícos. Portanto, era de se esperar que os valores das medidas de dispersão (desvio padrão e amplitude total) fossem estatisticamente mais elevados do que os registrados para a temperatura do ar.

Os maiores desvios padrão foram identificados nas áreas limítrofes entre as regionais Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste (Figura 4b). O ponto 15 registrou o maior valor (20,7%), seguido pelos pontos 19 (18,6%), 20 (18,1%) e 16 (17,6%). A amplitude total verificada nestes locais também foi elevada – 75% (P15), 74% (P19), 65% (P20) e 70% (P16). O comportamento do ponto 15 fugiu do padrão normal. Normalmente são esperadas baixas variações na umidade relativa diária em locais próximos a áreas verdes e corpos hídricos devido ao aporte regular de vapor d'água. Muito provavelmente, as mudanças na direção e intensidade dos ventos, registradas pelo observador, explicam o desempenho higríco deste ponto amostral.

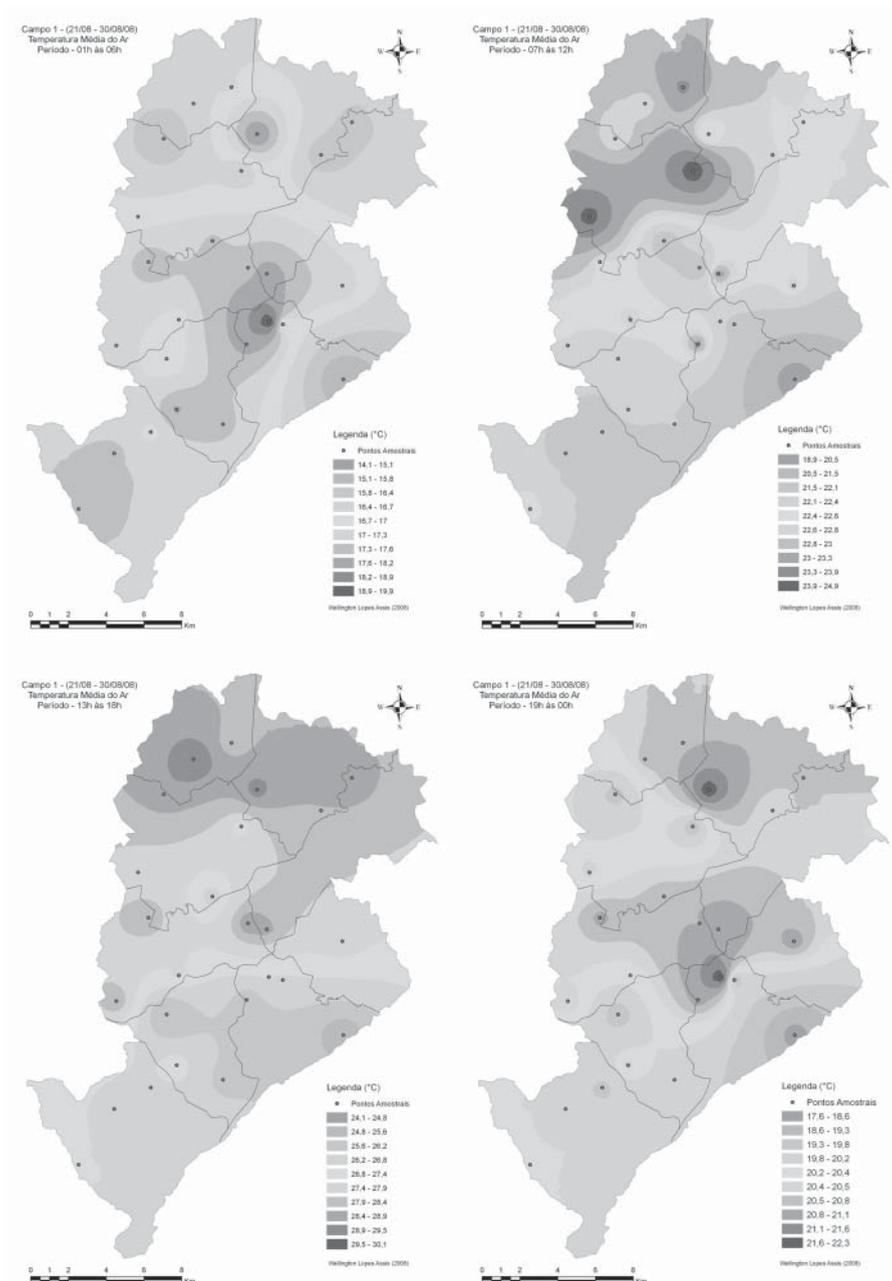
É interessante observar que os menores desvios padrão foram calculados para os pontos localizados em áreas urbanizadas, dentre eles o P11 (12,1%), P24 (12,8%), P21 (13,4%) e P9 (14,41%). Se comparada aos outros locais, a amplitude total higríca verificada nestes pontos também foi baixa – 54% (P11), 59% (P24), 54% (P21) e 56% (P9). Talvez a menor disponibilidade de umidade local explique este comportamento, pois, sendo a evaporação e a evapotranspiração baixas, a variação na umidade relativa também o será.

SEGUNDO TRABALHO DE CAMPO (03/03/2009 A 18/05/2009)

As condições atmosféricas de Belo Horizonte entre os dias 03/03/2009 e 18/03/2009 foram marcadas por alternância de tipos de tempo estáveis, com ventos fracos e pouca nebulosidade, e instáveis, com chuvas localizadas em alguns pontos da cidade. Esta última situação foi ideal para verificar a atuação das precipitações como agente mitigador das diferenciações meso e topoclimáticas e na minimização dos bolsões de calor sobre o tecido urbano. Os maiores gradientes térmicos e higrícos foram registrados na atuação de sistemas atmosféricos estáveis e os menores no domínio das Linhas de Instabilidade (LI) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A média geral para a temperatura do ar durante os dezesseis dias do experimento foi calculada em 25,4°C, 2,4°C acima da média climatológica para o mês de agosto (23,0°C). Os maiores valores médios pontuais foram computados para os pontos 11 (Centro - 26,6°C), 8 (bairro Bom Jesus - 26,5°C), 7 (Conjunto Habitacional Alípio de Melo - 26,4°C), 14 (bairro Itatiaia - 26,2°C), 13 (bairro São Geraldo - 26,04°C) e 5 (bairro Camargo - 26,03°C) (Figura 5a). Com exceção do P11, os demais pontos amostrais apresentaram entre 12h e 16h valores térmicos elevados, influenciando positivamente a média pontual. Os menores valores médios foram calculados para os pontos 12 (Parque dos Mangabeiras – 22,2°C), 22 (Estação Meteorológica do IGAM – 23,5°C) e 25 (Estação Ecológica da UFMG – 24,20°C). Os pontos 2 (bairro Teixeira Dias - 24,24°C) e 21

Figura 3: Conjunto de mapas com a temperatura média do ar por períodos durante o campo I (18/08/2008 - 02/09/2008)

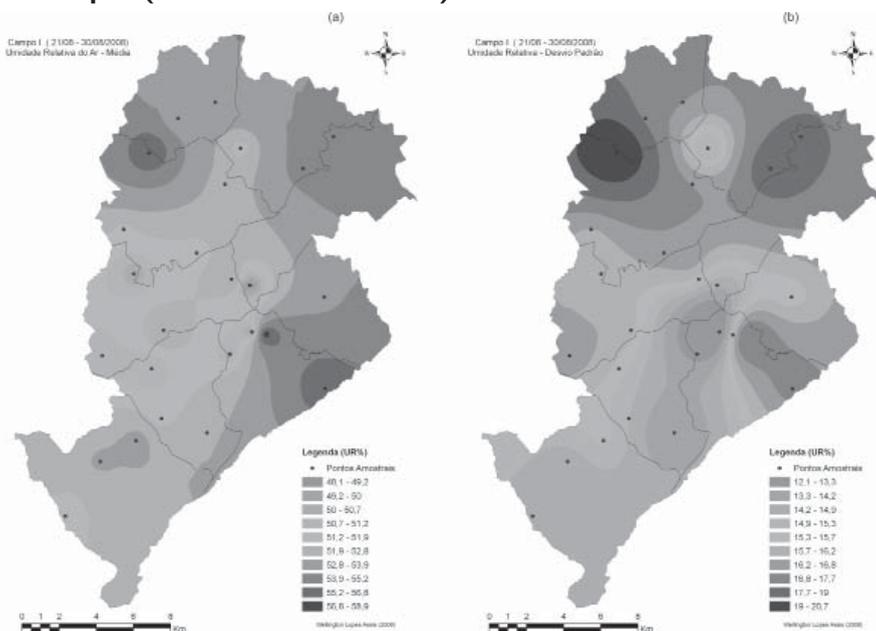


(Estação Meteorológica do Uni-BH - 24,3 °C) também ficaram abaixo da média geral.

Foi possível identificar novamente os três núcleos de aquecimento contínuo e as áreas mais arrefecidas do município. Notou-se, mais uma vez, estreita relação destes locais com as características de uso do solo e densidade demográfica. As áreas densamente ocupadas e urbanizadas, com predomínio de edificações de vários pavimentos e pequena porção de áreas verdes entre os espaços livres, proporcionaram durante o dia a um elevado aquecimento superficial e a formação de bolsões de calor no período noturno.

Observando os mapas com as médias horárias por períodos (01h às 06h, 07h às 12h, 13h às 18h e 19h às 00h), nota-se também a influência da topografia no padrão de aquecimento superficial ao longo do dia (Figura 6), principalmente o direcionamento das vertentes em relação ao movimento aparente do Sol (MAS). Apesar da insignificante diferença latitudinal entre os pontos amostrais, a orientação das vertentes, segundo o MAS, conduz a distintos resultados de insolação superficial e aquecimento atmosférico local. As porções Norte, Nordeste e Noroeste de Belo Horizonte registraram, entre as 07h e 17h, os maiores valores médios e máximos diários. São locais cujas vertentes são fortemente aquecidas entre 10h e 15h. A morfologia local também contribui para este efeito, pois os vales são abertos e mais expostos ao MAS. Os pontos com topografia acidentada (P1, P2, P3, P12 e P21) e com presença de vales fechados e sombreados registraram os menores valores

Figura 4: Mapas da umidade relativa média do ar (a) e desvio padrão (b) do campo I (18/08/2008 - 02/09/2008)



médios e mínimos diários. Nos dias sob atuação de sistemas atmosféricos estáveis (ASAS), o aquecimento superficial foi mais intenso.

A dinâmica dos três principais bolsões de calor do município foi semelhante à observada no primeiro trabalho de campo, exceto pela menor expansão do núcleo I entre 19h e 06h, que foi novamente o mais intenso e persistente no período noturno. O segundo núcleo foi mais ativo no período da tarde e início da noite, restringindo sua área de influência para as proximidades do ponto 18 entre 01h e 06h. O terceiro núcleo, apesar de ter sido o menos intenso em relação aos dois últimos, foi mais bem caracterizado neste experimento, apresentando uma maior abrangência espacial e desempenho térmico entre 19h e 06h.

O núcleo I respondeu mais uma vez pelos menores valores médios de aquecimento e resfriamento, seguido pelo núcleo III e II (Tabela 2). A maior evidência da ilha de calor aconteceu entre 21h e 06h. A ocorrência de instabilidade atmosférica

TABELA 2: Aquecimento e Resfriamento Médio nos Núcleos Térmicos - Campo II

Núcleo I			Núcleo II			Núcleo III		
Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²	Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²	Ponto	$t_{15} - t_6$ (°C) ¹	$t_{18} - t_6$ (°C) ²
P8	10,9	6,2	P16	12,9	7,5	P7	9,7	6,3
P9	10,2	5,6	P17	10,9	6,6	P14	11,1	6,9
P10	9,6	5,8	P18	9,8	6,4	P25	8,3	5,3
P11	7,8	4,8	P26	10,5	6,9			
P13	11,2	6,3						
P24	6,8	4,7						
Média	9,4	5,6	Média	11,0	6,8	Média	9,7	6,2

¹Aquecimento entre 06h e 15h

²Resfriamento entre 18h e 06h

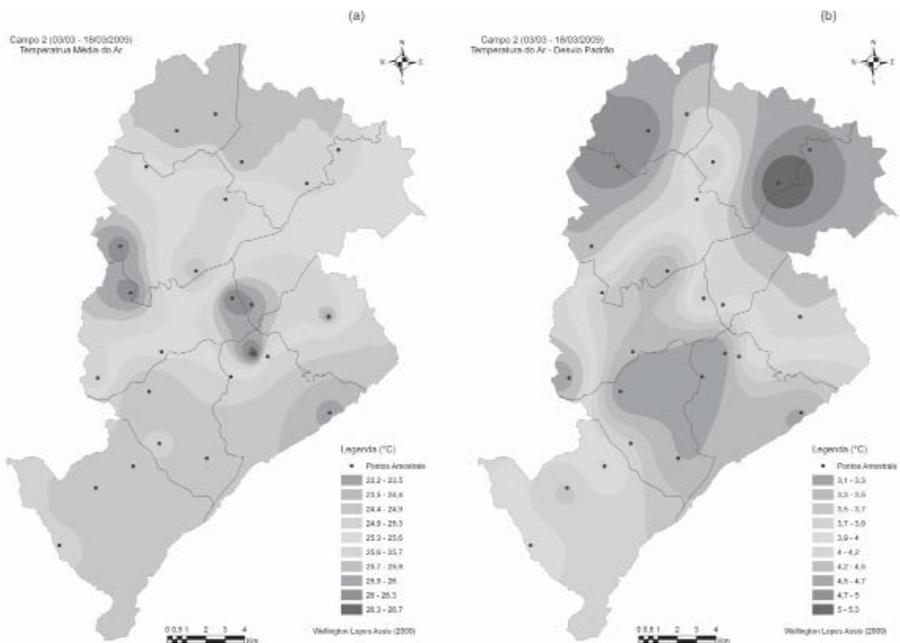
durante a madrugada determinou uma diminuição na magnitude do fenômeno no núcleo I e eliminação nos núcleos II e III, como descrito no item 5.1.5.

Em função da altitude e melhor ventilação, os pontos 1, 2, 3, 12, e 22 registraram em todos os períodos as menores temperaturas médias e as maiores taxas de resfriamento noturno. O Parque Municipal (P10) e a Estação Meteorológica do UNI-BH (P21) comportaram-se mais uma vez como núcleos frios em meio à região mais urbanizada e verticalizada do município. A Estação Ecológica da UFMG (P25) também teve um papel importante no arrefecimento atmosférico local.

O desvio padrão da temperatura do ar em relação aos valores médios foi menor do que observado no primeiro experimento (3,9°C). Os maiores desvios foram identificados novamente nas áreas limítrofes entre as regionais Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste (Figura 5b). Foram computados os seguintes valores pontuais: 5,3°C (P19), 4,93°C (P15), 4,89°C (P16) e 4,88°C (P20). A amplitude térmica total também foi elevada nestes locais: 19,0°C (P19), 18,6°C (P15), 18,3°C (P16) e 17,7°C (P20). O menor desvio padrão foi calculado para a estação meteo-

rológica do 5DISME/INMET (P24 - 3,04°C) seguido pelos pontos P22 (3,15°C), P11 (3,23°C), P12 (3,30°C), P21 (3,32°C) e P25 (3,36°C). Com a exceção dos pontos 12 e 25, todos estão localizados em áreas urbanizadas e verticalizadas. Contudo, separando os desvios padrão em relação ao tipo de sistema atmosférico verificou-se

Figura 5: Mapas da temperatura média do ar (a) e desvio padrão (b) do campo II (03/03/2009 - 18/03/2009)



que, no domínio do ASAS, os valores foram maiores e na participação das Linhas de Instabilidades e a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, menores.

Novamente os maiores valores médios de UR% foram registrados nos locais com elevados índices de arborização ou próximos a corpos hídricos (Figura 7a), dentre eles, destacando-se os pontos 12 (74,3%), 10 (72,3%), 25 (70,5%), 19 (70,4%) e 20 (69,9%). Os menores valores médios foram verificados nos locais urbanizados e impermeabilizados, P11 (62,7%), P8 (63,8%), P5 (64,01%) e P7 (64,02%). Os pontos 24, 14, 13 e I também ficaram abaixo da média geral, com, respectivamente, 64,52%, 64,79%, 64,82% e 65,0%.

Notou-se uma forte influência da topografia e do movimento aparente do sol no comportamento higrício. Entre 07h e 12h, as vertentes sombreadas das porções Norte e Nordeste do município (P18, P19 e P20) e o Parque dos Mangabeiras (P12) detiveram as maiores médias pontuais. Das 13h às 18h, o fator vegetação/corpo hídrico foi determinante, posto que os maiores valores médios pertencem às

áreas com densa cobertura vegetal (P10, P12 e P25). No período noturno (19h às 06h), a UR% foi um pouco mais elevada nas áreas deprimidas e de fundo de vale (P6, P15, P19, P20 e P26) do que naqueles pontos situados em locais mais abertos e ventilados (P5, P22, P14 e P7).

Os valores do desvio padrão da UR% foram menores em relação ao observado no primeiro trabalho de campo, embora permanecessem estatisticamente mais elevados do que os registrados para a temperatura do ar. Os maiores desvios padrão foram identificados nas áreas limítrofes entre as regionais Pampulha, Venda Nova, Norte e Nordeste (Figura 7b). Destaque para os pontos 19 (18,7%), 15 (16,4%) e 16 (15,9%). Os menores desvios padrão foram calculados para os pontos localizados em áreas urbanizadas e arborizadas, dentre eles o P21 (10,8%), P11 (12,1%), P10 (12,45%) e P6 (12,47%). Como este parâmetro estatístico é muito influenciado pelos extremos, a ocorrência de precipitação em alguns dias na região central, associada aos baixos índices hídricos verificados durante a atuação do ASAS, proporcionou variações diárias significativas a UR%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que os resultados aqui expostos não esgotam de forma conclusiva a discussão sobre o clima urbano de Belo Horizonte, dadas a escala temporal de experimentos e a quantidade de pontos utilizados nos trabalhos de campo. No entanto, eles permitem extrair algumas considerações acerca das unidades topo e mesoclimáticas e da configuração da ilha de calor no tecido urbano.

Os dois experimentos de campo confirmaram as suposições dos modelos teóricos e empíricos de que a aglomeração urbana possibilita um maior acúmulo interno de energia em relação às áreas circundantes, sendo um dos principais fatores na elevação da temperatura local e alterações nos hídricos. Entretanto, as interferências mais perceptíveis do tecido urbano no comportamento dos parâmetros meteorológicos foram verificadas no período seco sob condições atmosféricas estáveis (ASAS e APAS). Na atuação de sistemas atmosféricos instáveis (FF, LI e ZCAS), com ocorrência de chuvas e ventos moderados, os núcleos de aquecimento desapareciam, diminuindo também as amplitudes entre os pontos amostrais espalhados na cidade.

Observando a variação temporal e espacial da temperatura do ar nos pontos amostrais, foi possível identificar três núcleos de aquecimento contínuo. A existência dessa fragmentação e a diversidade dos bolsões de calor em Belo Horizonte já haviam sido registradas por Assis (2001), que as classificou como arquipélagos de calor, conforme denominação utilizada por Monteiro (1990c). Há que se considerar que, na época, Assis (2001) identificou somente os núcleos do hipercentro e da Regional Venda Nova em trabalho de campo de 24h.

De acordo com a tabela de intensidade de ilhas de calor elaborada

por López-Gómez (1993), o núcleo de aquecimento I (hipercentro) seria classificado como moderado ($2,0^{\circ}\text{C}$ - $3,9^{\circ}\text{C}$) entre 07h e 17h e forte ($4,0^{\circ}\text{C}$ - $5,9^{\circ}\text{C}$) entre 18h e 06h. Já os núcleos II e III seriam considerados moderados entre 19h e 11h e fortes a muito fortes ($> 6,0^{\circ}\text{C}$) no período da tarde. O comportamento térmico do núcleo I demonstrou que a verticalização e o adensamento das edificações, associados à obstrução da abóbada celeste, impossibilitam a chegada efetiva da radiação solar até o nível do solo. Estas características induzem a um menor aquecimento atmosférico durante o dia e a uma lenta dissipação de calor no período noturno, principalmente quando comparado às áreas periféricas que apresentam edificações de menor porte e pouca obstrução à insolação.

De modo geral, as ilhas de calor coincidiram com os locais mais adensados e impermeabilizados do município, onde é possível observar intenso tráfego de veículos e fluxo de pessoas. As ICs foram registradas tanto no período seco (campo II) como no chuvoso (campo II), sendo que no período seco (outono-inverno) os gradientes térmicos horizontais foram mais intensos. No entanto, sob atuação de sistemas atmosféricos instáveis, com ocorrência de chuvas e ventos moderados, a(s) ilha(s) de calor desaparecia(m), diminuindo também as amplitudes térmicas entre os pontos amostrais espalhados na cidade. Comprovou-se a hipótese de que em períodos de instabilidade atmosférica as precipitações atuam como agentes mitigadores no desenvolvimento dos núcleos de aquecimento, atenuando as diferenciações meso e topoclimáticas.

O desempenho térmico e higrício do Central Business District (CBD) de Belo Horizonte possui características diferentes das relatadas em cidades temperadas, conforme já havia observado Assis (2001). O hipercentro não é o local mais quente e nem o mais seco do município. Apesar de não ter alcançado as máximas temperaturas e os menores índices higrícios, como nos modelos clássicos, a ilha de calor na região central apresentou o menor resfriamento noturno. Este comportamento foi sugerido pela análise do desvio padrão e pelo coeficiente de variação da temperatura média do ar, pois não foram utilizados instrumentos para as medições do balanço de radiação. Em termos de sensação térmica, as áreas periféricas ao hipercentro, bem como os aglomerados e vilas, tendem a ser piores ao CDB sob condições de céu claro e alta incidência de radiação solar.

Verificou-se nos experimentos de campo a influência da altitude na amenização das temperaturas, que determinou, de certa forma, o comportamento dos outros parâmetros meteorológicos. Isto pode ser observado mesmo nos dias de céu claro com intensa exposição à radiação solar. O P12, situado a 1163 metros, registrou em todos os campos as menores temperaturas. Infelizmente, não foi possível coletar dados na área de recente verticalização do Belvedere III, próximo ao BH Shopping, localizado na base da Serra do Curral. Assim não foi possível constatar até que ponto a altitude amenizaria os efeitos da verticalização e adensamento dos edifícios.

Figura 6: Conjunto de mapas com a temperatura média do ar por períodos durante o campo II (03/03/2009 – 18/03/2009)

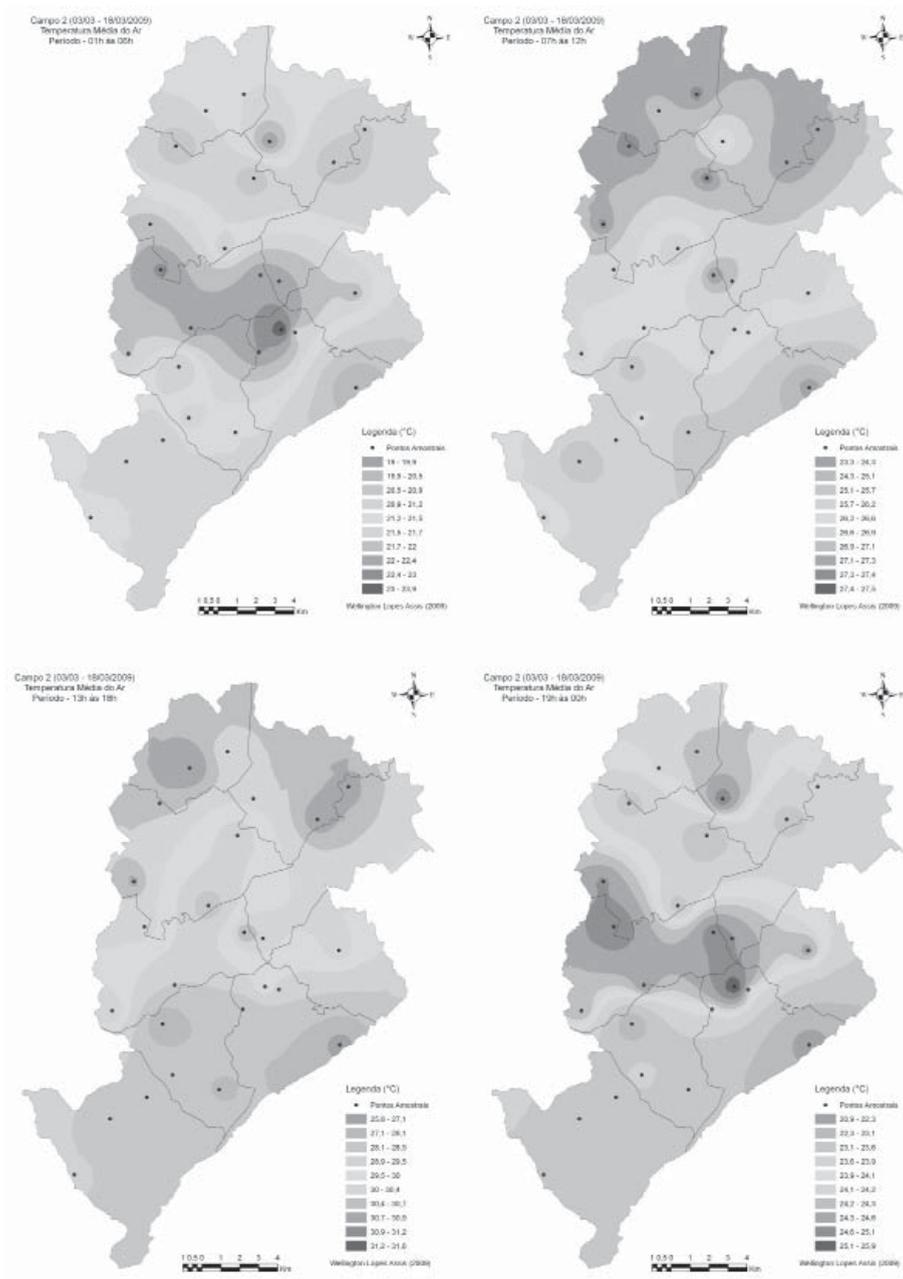
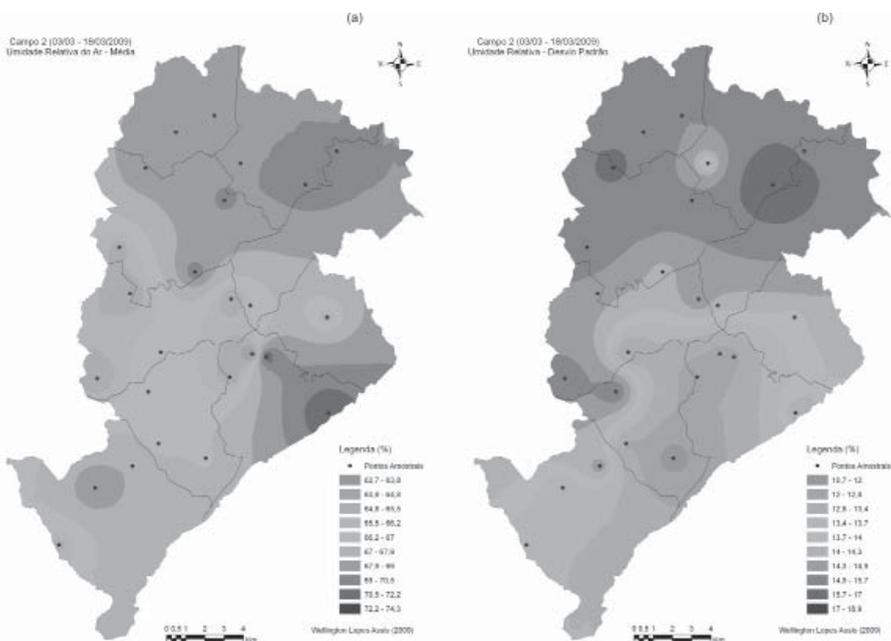


Figura 7: Mapas da umidade relativa média do ar (a) e desvio padrão (b) do campo II (03/03/2009 – 18/03/2009)



Os pontos 10 (Parque Municipal) e 12 (Parque dos Mangabeiras) comportaram-se como núcleos frios em meio à região mais urbanizada e verticalizada, comprovando a eficiência das áreas verdes na diminuição dos ganhos térmicos. Os pontos próximos a Serra do Curral (PI, P2, P3) também registraram temperaturas mais amenas em relação aos demais locais de coleta. Estes, apesar de urbanizados, possuem algumas características geoecológicas que dificultam a formação de bolsões de calor e áreas de desconforto térmico permanentes. Dentre estas características, podemos citar a topografia, a presença de áreas verdes e a inexistência de grandes obstáculos construídos em relação aos ventos predominantes. De modo geral a intensidade do resfriamento noturno ligou-se à combinação de circunstâncias topográficas e características das edificações próximas ao local de coleta dos dados. Os pontos mais elevados responderam pelo maior resfriamento a partir das 18h, contrastando com a lenta dissipação de calor das áreas mais baixas e com altos índices de urbanização e impermeabilização do solo.

Foram registradas diferenças significativas de umidade relativa do ar entre os pontos mais urbanizados e aqueles próximos às áreas vegetadas e corpos hídricos, principalmente no primeiro trabalho de campo (período seco). A análise horária deste parâmetro mostrou gradientes hídricos superiores a 10% em todos os dias. Foram identificados três núcleos úmidos permanentes: o Parque Municipal

(P12), o Parque dos Mangabeiras (P12) e o ponto 15, localizado nas proximidades da Lagoa da Pampulha. Sabe-se que o percentual de umidade relativa local depende da disponibilidade de água em superfície, da pressão do vapor d'água, além da velocidade dos ventos e temperatura ambiente. Por este motivo, nos experimentos de campo os maiores gradientes hídricos horizontais entre os pontos arborizados e aqueles urbanizados foram verificados em condições sinóticas típicas de inverno - tempo estável apresentando pouca ou nenhuma nebulosidade e ventos fracos em superfície.

Também foi possível observar a influência da topografia nos valores de umidade relativa. Os pontos mais elevados (P1, P2, P3 e P12) detiveram médias hídricas superiores em relação aos locais mais baixos. A altitude tende a amenizar a temperatura e saturar mais rapidamente o vapor d'água, obviamente se existir vapor d'água suficiente no ar. Entretanto, o ponto 22 (IGAM), apesar de situar-se a 950 m, registrou baixa UR% em quase todos os horários. A explicação estaria no tipo de uso do solo deste ponto - localiza-se em área urbanizada e com pouca vegetação. O P12, além do fator altimétrico, conta com uma extensa área arborizada e presença de cursos d'água.

A espacialização e as características dos bolsões de calor apresentadas em Belo Horizonte, assim como em outras metrópoles latino-americanas, são raramente observadas em cidades europeias e americanas, visto que elas se desenvolveram de forma concêntrica e se localizam em sítios cuja topografia é pouco irregular. A maioria das grandes cidades localizadas nos trópicos e em países de industrialização tardia possui características de polinucleação. Além disso, algumas delas estão assentadas em sítios com significativas variações altimétricas.

De qualquer modo, os estudos de clima urbano não se limitam somente à constatação dos “núcleos de aquecimento” e “núcleos frios”, que são fatores importantes, mas não únicos. Existe uma série de elementos associados à climatologia urbana que são básicos para a noção de “conforto” e “qualidade ambiental”. No caso de Belo Horizonte, as pesquisas em clima urbano têm o interesse ampliado devido à escassez de contribuições nesta área de estudo. Os problemas gerados pelo rápido processo de impermeabilização e verticalização, aliados às especificidades dos fatores geoecológicos, amplificam ainda mais as condições negativas da qualidade de vida da população belorizontina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, W. L. *Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte*. 2001. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- IPCC. *Climate change 2007: synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf. Acesso em: out. 2007.
- LANDSBERG, H. E. The urban heat island. In: *The urban climate*. v.28. New York: Academic Press, 1981. 275p.
- LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo:

- Hucitec, 1985. 244p.
- LÓPEZ GÓMEZ, A (Coord.). *El clima de las ciudades españolas*. Madrid: Cátedra, 1993. 268p.
- MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: IG06-USP, 1976. (Série Teses e Monografias n. 25).
- OKE, T. R. *Boundary layer climates*, London: Methuem & Co. LTD, 1978. 372p.
- ROE, G. In defense of Milankovitch. *Geophysical Research Letters*, v. 33, L24703, p.1-5, 2006.

Agradecimentos: Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pelos dados atmosféricos disponibilizados através do convênio nº D05/081/2008; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo financiamento do Projeto de Pesquisa APQ-2016-5.02/07, intitulado “Mapeamento das Unidades Climáticas Urbanas e Ilhas de Calor do Município de Belo Horizonte – MG”; e à Rede Clima, Subrede Cidades, pela concessão da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial (CNPq) ao doutorando Wellington Lopes Assis, do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.