

# VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR EM ÁREA URBANA E RURAL DURANTE O SEGMENTO TEMPORAL DE INVERNO DE 2011 EM CONTAGEM E BETIM (MG)

Variations of temperature and humidity of air in rural and urban area during the time segment in the winter of 2011 in Contagem and Betim (MG-Brazil)

Variaciones de temperatura y humedad del aire en área rural y urbana durante el segmento de tiempo en el invierno de 2011 en Contagem y Betim (MG-Brasil)

Larissa Cristina Silva Lopes<sup>i</sup>  
Carlos Henrique Jardim<sup>ii</sup>  
*Universidade Federal de Minas Gerais*

## Resumo

O objetivo deste artigo foi investigar a relação entre uso da terra e topografia nas variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural nos municípios de Contagem e Betim, centro-sul do estado de Minas Gerais. A mensuração dos dados climáticos ocorreu durante o período de inverno (20/06 – 21/09/2011) de forma contínua e simultânea, em intervalos de sessenta minutos, utilizando-se de sensores automáticos (dataloggers – modelo Icel HT 4000). A estação meteorológica do INMET, sediada no campus da UFMG, foi utilizada para aferição dos instrumentos e controle local das variações dos elementos climáticos. Os dados produzidos foram analisados de forma comparativa em seqüência temporal levando-se em consideração as características ambientais (relevo e uso da terra) e atmosféricas. Os valores de temperatura do ar tomados na área urbana de Contagem mostraram relativo “atraso” em sua evolução horária e menor amplitude quando comparados aos dados mensurados na área rural de Betim. Atribuiu-se esses fatos à situação topográfica de cada um dos postos e às características de conservação e produção de calor no meio urbano, associada ao baixo calor específico dos materiais utilizados na construção civil, maior densidade de edificações, relativa ausência de áreas verdes e participação de fontes adicionais de calor de origem antropogênica.

**Palavras-chave:** temperatura do ar; umidade relativa do ar; relevo; uso da terra.

## Abstract

The aim of this paper was to investigate the relationship between land use and topography on the variations of temperature and relative humidity in urban and rural municipalities in the Contagem and Betim, south-central state of Minas Gerais-Brazil. The measurement of climatic data occurred during the winter (20/06 - 21/09/2011) continuously and simultaneously, at intervals of sixty minutes, using the automatic sensors (dataloggers - Icel HT model 4000). The weather station INMET, headquartered on the campus of UFMG were used for calibration of instruments and control of the local variations of climatic elements. The data obtained were analyzed in a comparative way in a time sequence taking into account the environmental characteristics (topography and land use) and atmospheric. The temperature of the air taken in urban showed count on "delay" in its development in hourly and lower amplitude when compared to data measured in Betim (rural area). Was attributed these facts to the topographical situation of each of the positions and characteristics of conservation and heat production in the urban environment associated with low specific heat of the materials used in construction, higher density of buildings, relative lack of green areas and participation additional sources of anthropogenic heat.

**Keywords:** air temperature; relative humidity; topography; land use.

## Resumen

El propósito de trabajo de esta investigación fue comprobar la relación entre el uso de la tierra y la topografía en las variaciones humedad relativa y temperatura, en los municipios urbanos y rurales de Contagem y Betim, en centro-sur del estado de Minas Gerais. La medición de datos del tiempo se produjeron durante el invierno (20/06 - 21/09/2011) continuamente al mismo tiempo y en intervalos de sesenta minutos, utilizando los sensores automáticos (registros de datos - icel ht 4000). El INMET estación meteorológica con sede central en el campus de la UFMG es utilizaron para calibración de los instrumentos y el control local de los elementos climáticos y configuraciones regionales. Los datos obtenidos se analizaron de manera comparativa de tiempo en una secuencia principal teniendo en cuenta las características ambientales (topografía, uso de la tierra y la atmósfera). La temperatura del aire en las zonas urbanas mostró contar con el "retraso" en su desarrollo en comparación con los datos medidos en Betim (zona rural). Si atribuyeron estos hechos a la situación topográficos cada una de las posiciones y las características de conservación y producción de calor en el medio urbano asociado con bajo calor específico de estos materiales utilizados en la construcción, la mayor densidad de los edificios, su relativa falta de en nuevas instalaciones y la participación de las fuentes adicionales de calor antropogénico.

**Palabras clave:** temperatura del aire; humedad relativa; topografía; uso de la tierra.

## INTRODUÇÃO

Os resultados aqui apresentados incluem-se dentro de uma problemática maior, relativa às pesquisas em climatologia urbana, dentro de uma postura na qual a cidade é considerada como elemento ativo capaz de produzir alterações significativas nas características da camada de ar dentro da qual se situa, ou seja, além de produzir o seu próprio clima, compartilha o mesmo espaço e tempo (tempo cronológico) com uma série de outros fenômenos climáticos produzidos, inclusive, fora das cidades, cuja repercussão é notada pela sucessão dos “tipos de tempo”. Dessa forma, fenômenos como as “ilhas de calor”, microclimas associadas à produção de calor oriunda de fontes urbanas ativas e passivas e concentração pontual de poluentes atmosféricos etc., que guardam estreita relação com as características e a dinâmica das cidades, ocorrem junto a fenômenos como inversões térmicas, circulação do ar associada à formação de ventos anabáticos e catabáticos, ação de sistemas frontais etc., cuja origem associa-se, respectivamente, às características do relevo e dinâmica das massas de ar, podendo ocorrer em qualquer lugar, seja numa cidade, área rural ou florestal.

Isso quer dizer que o papel das cidades enquanto núcleo de organização de espaços climáticos deve ser revisto e relativizado diante de um complexo maior de eventos que participam desse sistema. E isso é possível quando se analisa o clima dentro de uma perspectiva de sucessão e encadeamento dos tipos de tempo, fundamento da análise rítmica (MONTEIRO, 1971).

Dentro dessa perspectiva e considerando que se trata de uma pesquisa inicial e, portanto, de caráter exploratório, o objetivo deste artigo

foi explicar a causa das variações de temperatura e umidade relativa do ar, considerando a relação dessas variáveis com a sucessão e encadeamento dos tipos de tempo, o relevo e o uso da terra, a partir de comparações simultâneas e pontuais na área urbana do município de Contagem e na área rural de Betim, durante o segmento temporal de inverno de 2011.

Esse tipo de pesquisa justifica-se considerando as transformações pelas quais passaram os municípios de Contagem e Betim nas últimas décadas em relação à expansão e diversificação das estruturas e dinâmica urbanas e pelas possíveis conseqüências desse processo nas características atmosféricas locais.

As modificações impostas ao comportamento dos elementos atmosféricos, comandadas pelas modificações na natureza das superfícies ocupadas pelas cidades, interferem no balanço de radiação (relativo à entrada, trânsito e saída de calor e repercussão nas variações de temperatura), no balanço hídrico (precipitação, fontes de vapor, umidade do ar etc.), na circulação do ar e dissipação dos poluentes. Entre outros fatores, essas modificações são acompanhadas de mudanças nas características de albedo dos materiais (influência direta na absorção de radiação solar), armazenamento e transmissão de calor (relativo às propriedades moleculares dos materiais empregados na construção civil), obstrução de determinada porcentagem da radiação solar (“sky view factor”), incremento da “rugosidade” da superfície e aumento da turbulência do ar induzida, supressão de fontes de vapor d’água, áreas verdes e cursos d’água, muitas vezes suprimidos de forma parcial ou inteiramente da paisagem etc.

Por outro lado, quando se fala em rever o papel das cidades, isso evidentemente inclui considerar os aspectos positivos. Será que a maioria das pessoas no mundo consegue se imaginar vivendo fora ou, pelo menos, sem manter algum vínculo com as cidades? Além de impactos negativos, a cidade é sede de transformações sociais importantes, envolvendo a produção de serviços, importação e exportação de mão-de-obra qualificada, entreposto comercial, concentração de equipamento industrial etc. Dentro dessa perspectiva, uma vez que o clima é também um recurso natural, isso incluiria saber como é o ritmo de variação das chuvas e a relação disso com o abastecimento hídrico das cidades, a dinâmica dos ventos e o seu papel frente à dissipação de calor e poluentes etc.

#### BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As modificações impostas à atmosfera das cidades são muitas e variam de lugar para lugar. Barry e Chorley (1985, p.405) traduziram de forma quantitativa algumas dessas modificações: duas vezes mais dióxido de carbono; 200 vezes mais dióxido de enxofre; 10 vezes mais monóxido de carbono; 10 vezes mais dióxido de nitrogênio; 20 vezes mais hidrocarbonetos; 3 a 7 vezes mais material particulado; 15,0 a 20,0% menos radiação solar global; 30% menos de infiltração do ultravioleta no inverno; 5 a 15% menos na duração da luz solar; temperatura mínima invernal (média) em 1,0° C a 2,0° C mais elevadas; redução de 20,0% a 30,0% nos valores médios anuais de velocidade do vento; 5,0% a 20,0% mais no número de dias com calmarias; 100,0% mais névoa no inverno e 30,0% a mais no verão; aumento de 5,0% a 10,0% de nebulosidade; aumento de 5,0% a 10,0% na

precipitação total (aumento de 10,0% dos dias com menos de 5 mm).

Dentre os trabalhos mais antigos que mencionam as diferenças de temperatura e umidade relativa do ar entre áreas urbanas e rurais (e/ou naturais), encontram-se as considerações de Monteiro e Tarifa (1977) a respeito do clima na cidade de Marabá (PA). Situada em zona equatorial continental, as variações dos elementos climáticos estariam estreitamente ligadas aos componentes verticais do balanço de radiação, motivado pelo forte aquecimento da superfície e convecção do ar. O reflexo dessa variação de temperatura, tanto na área urbana quanto nos arredores da cidade, transparecem pelas diferenças quase insignificantes desse elemento (décimos de grau), tomadas em diferentes locais ao ar livre. As maiores discrepâncias foram encontradas nos ambientes microclimáticos, quando, num dado momento, a estação principal da cidade no aeroporto acusou 31,0°C, ao mesmo tempo em que no interior da mata era registrado 27,0°C. Essa condição foi atribuída ao papel da água (e umidade do ar) nesse meio. A forte ascensão da temperatura do ar logo após um temporal e elevadas taxas de umidade do ar, com valores próximos à saturação, no período da manhã, decorrente do (relativo) resfriamento noturno, demonstram isso.

Tarifa (1981), em São José dos Campos, a partir de tomadas de temperatura do ar, tanto em área urbana quanto na área rural do município, considerando as diferentes exposições das vertentes, sob a ação de determinados sistemas atmosféricos, constatou, para a área urbana, valores médios diários mais elevados de temperatura do ar e mais baixos de umidade relativa

(respectivamente de 1,0°C a 3,4°C sob a ação da Frente Polar Atlântica e Sistema Polar Atlântico e de 2,0 a 12,0% na umidade relativa). Os valores mais baixos foram observados na área de mata (diferenças diárias de temperatura do ar de 2,9°C em relação às áreas com cobertura de pasto e 1,7°C em relação à área de eucalipto). Quanto ao relevo, as vertentes orientadas para norte se mostraram mais aquecidas do que as vertentes voltadas para sul, embora os ambientes mais frios tenham se encontrado nas áreas planas de beira de rio, ventiladas e recobertas por vegetação.

Fica claro no artigo que a vegetação não é o único fator atenuador da temperatura do ar. As faces mais sombreadas das vertentes e a condição topográfica atuam conjuntamente com a vegetação como “escondouros” de calor e não como área fonte.

Para Garcia (1990, p. 33), alguns dos fatores que interferem no balanço de radiação, responsáveis pelas “anomalias térmicas positivas” ou “ilhas de calor” verificadas nos centros das cidades, resultam de um balanço desigual de energia e refletem-se nos valores de temperatura do ar. De acordo com a autora, devem-se, basicamente, aos seguintes fatores: (1) maior armazenamento de energia durante o dia nas cidades e a sua liberação contínua, mesmo depois do pôr-do-sol, durante a noite, capaz de compensar o déficit noturno de radiação; (2) produção de calor antropogênico; (3) diminuição das áreas fontes de evaporação (corpos hídricos e áreas verdes) em detrimento da expansão da malha urbana; (4) menor perda de calor sensível devido à redução na velocidade do vento; (5) aumento da absorção da radiação solar, associado às características de albedo e incremento na área de exposição das edificações.

Essas condições de aquecimento seriam capazes de gerar um excedente de calor na cidade e estaria relacionada ao armazenamento de energia, maior durante o dia, onde 70 a 80% do input radiante de todas as superfícies é dissipado no ar por meio de transferência turbulenta e o restante, de 20,0 a 30,0% (contra 5,0 a 15,0% nas superfícies de cultivo, bosques e pradarias), é armazenado pelos materiais dos edifícios. Esse calor armazenado é suficiente para equilibrar o déficit de radiação durante a noite, já que as trocas turbulentas do ar são menores.

Mendonça (1994 e 2003), na cidade de Londrina (PR), também traz considerações sobre a influência do entorno rural sobre os valores de temperatura do ar nas áreas urbanas e aponta como fator de intensificação das “ilhas de calor” o transporte de calor sensível das áreas rurais para o centro urbano no período entressafra, quando o solo está ressecado e exposto e/ou parcialmente recoberto por vegetação. Nessas condições foram constatadas diferenças pontuais de temperatura entre o centro de Londrina (mais aquecido) e a área rural, próximas ou até superiores a 10,0°C. Constataram-se, também, diferenças pontuais negativas de menor magnitude em relação às “ilhas de calor”, mas ainda sim expressivas (variando em alguns décimos a pouco mais de 4,0°C), entre o centro urbanizado (desta vez mais frio) e as áreas periféricas e rurais.

O trabalho de Sette (1996), realizado em Rondonópolis, cidade de porte médio, àquela época com aproximadamente 160 mil habitantes, localizada no sudeste do estado do Mato Grosso, constata uma série de diferenças nos valores de temperatura do ar, temperatura do solo, chuva e umidade relativa do ar, a

partir de postos fixos (mini-abrigos meteorológicos) instalados em área urbana e rural. O período dedicado ao monitoramento ocorreu no ano de 1993 e abrangeu dois episódios de 24 horas com tomadas contínuas a cada 30 minutos nos dias 27 e 28 de fevereiro e 24 e 25 de setembro, e outros dois episódios mais extensos, entre os dias 04 a 10 de março e 20 a 26 de setembro nos horários das 6 h e 30 min, 12 h e 20 h. As diferenças de temperatura encontradas revelaram valores positivos de alguns décimos de graus a pouco mais de 4,0°C entre o centro da cidade (mais aquecido) e o posto meteorológico da UFMT em área rural e em cota altimétrica mais elevada em relação aos demais postos (315 m contra 218 m do posto do centro da cidade). Em relação à umidade relativa do ar, o posto do centro da cidade exibiu valores médios 9,0% inferiores aos do posto padrão (UFMT) no período de chuvas. Na estação seca essa média subiu para 14,0%. Essas diferenças foram atribuídas, basicamente, às propriedades de conservação de energia no meio urbano: [...] “o grau de resfriamento noturno, em situação de tempo estável, não é suficiente para descaracterizar um dos atributos da cidade, que é o de maior acúmulo de energia em relação às áreas rurais.” [...] (SETTE, 1996, p. 68). Em relação às diferenças de umidade relativa a autora destaca que na [...] “estação seca a distribuição espacial da umidade na área urbana de Rondonópolis acompanhou mais a configuração da ilha de calor, ou seja, apresentando valores inversos aos da temperatura.” [...] (SETTE, 1996, p. 98).

Aynsley e Gulson (1999), a respeito da formação de “ilhas de calor” em cidades situadas nos trópicos úmido, apoiado em outros autores, argumentam a favor de um incremento nos valores de temperatura do ar,

principalmente em cidades populosas, da ordem de 4,0°C, verificado em Singapura, e de 6,5°C em Kuala Lumpur. Muito embora relatem variações positivas de 2,0°C verificados em cidades com pouco mais de 1000 habitantes. Como característica geral, esses valores positivos de temperatura ocorreriam, principalmente, no período noturno sem ventos e, de forma menos pronunciada, durante o dia. Atribuem enquanto causa principal, a densidade urbana, os impactos decorrentes de modificações no sombreamento e resfriamento evaporativo associados ao “design” dos edifícios.

As observações de Tavares (2002), a partir da comparação entre área urbana e rural, também ajudam a elucidar a questão. Ao comparar duas localidades diferentes, uma na área urbana de Sorocaba e outra em área rural na fazenda Ipanema, distando 20 km uma da outra, e dispondo de uma série de três anos e meio de dados, constata em várias ocasiões que a temperatura do ar na fazenda é mais elevada do que aquela tomada na área urbana, principalmente no período da tarde, próximo às 15 horas, invertendo-se à noite. O autor (TAVARES, 2002, p.127) atribui esse fato [...] “às características das zonas rurais, que são áreas abertas que possibilitam um aquecimento mais rápido do solo e, conseqüentemente, um resfriamento também [...] Já na cidade, pela própria alteração do balanço de energia [...] há maior emissão de radiação de ondas longas pelo organismo urbano armazenada durante o dia, o que explica a temperatura mais elevada às 21 horas [...] a cidade encontra-se mais “abrigada” pelas construções, o que dificulta e retarda o seu resfriamento”.

Dentre as pesquisas realizadas no estado de Minas Gerais podem-se mencionar as teses

de Fialho (2009) e Assis (2010), sobre as variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural de Viçosa e urbana de Belo Horizonte, respectivamente.

Fialho (2009) não identifica relação direta entre urbanização e aumento da temperatura média do ar em Viçosa. Um dos principais argumentos do autor refere-se ao porte (pequeno) da cidade. Atenção especial é dada, também, às características do sítio urbano na modulação dos elementos climáticos. O sítio convergente de Viçosa favorece a formação de “ilhas de calor” (comparação entre área urbana e rural) com intensidades variáveis (entre 1,0°C e 4,0°C), com valores mais elevados no centro da cidade logo após do pôr-do-sol, diminuindo noite adentro. Tomadas intra-urbanas revelam o papel da topografia, principalmente no tocante à orientação das vertentes.

Embora Assis (2010) não tenha partido de comparações entre área urbana e rural (focando atenção nas variações dos atributos climáticos em áreas urbanas), deve-se destacar, assim como fora apontado nas demais pesquisas citadas, a diversidade de situações resultantes da combinação dinâmica entre a atmosfera, o relevo e o mosaico de estruturas, formas e funções urbanas. Dentre os resultados inclui-se a identificação das unidades climáticas em Belo Horizonte: 2 climas locais (Serra do Curral – parte do Quadrilátero Ferrífero, sudeste do município – e a depressão de Belo Horizonte, unidade geomorfológica integrante da bacia do Rio das Velhas), 06 mesoclimas (feições de relevo de menor vulto – colinas, escarpas, cristas, bacias secundárias etc. – associadas a padrões de urbanização) e 35 topoclimas (definidas principalmente pelas variações da urbanização e microformas de relevo). Foram identificados, também, três

núcleos de aquecimento em Belo Horizonte, principalmente nos horários entre 21 e 06 horas, mas que praticamente não se configuram durante eventos chuvosos. É mencionada, também, a influência de fatores como a altitude, topografia e áreas verdes na atenuação e/ou eliminação de “bolsões de calor”. Outro aspecto de interesse da pesquisa refere-se às comparações de dados de temperatura em diferentes períodos, no intervalo entre 1911 e 2009. Embora a tendência geral seja de aumento (que não é linear), o período entre 1986 e 2009 acusa taxa menor de elevação, que pode significar inversão dessa tendência.

## METODOLOGIA

O primeiro passo envolveu a elaboração do projeto, a partir de questionamentos pertinentes à climatologia, assim como a avaliação das possibilidades/limitações de trabalho, bem como a escolha da área de estudo. Incluiu-se nesse primeiro momento o levantamento e a leitura do material bibliográfico, assim como a seleção e elaboração do material cartográfico.

A escolha da área de estudo, envolvendo pontos situados em dois municípios (Contagem e Betim), deveu-se, basicamente, à possibilidade em se obter comparações dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, em situações diferenciadas quanto às características de relevo e de uso da terra (área urbana e rural), até então pouco exploradas no âmbito dos estudos de climatologia no estado de Minas Gerais, a partir de tomadas contínuas já que se contava com sensores (até então não utilizados) capazes de mensurar e armazenar continuamente os atributos focados (temperatura e umidade relativa do ar).

O ponto situado na área rural em Betim, compõe-se de propriedades particulares, muitas delas voltadas ao lazer, com poucas construções, de um ou dois andares, predominando estradas de terra e vegetação com diferentes características quanto ao porte e recobrimento foliar. O terreno está localizado em média vertente, direcionada para noroeste, e encontra-se em uma depressão relativa. O relevo local é caracterizada por um conjunto de colinas convexas, com vertentes alongadas e vales abertos. O sensor foi instalado à altitude de 808 m, nas coordenadas de 19°56'4,75"S e 44°14'29,11"O. Na imagem de satélite (Figuras 1 e 2) é possível observar a predominância de áreas verdes. Segundo dados do censo demográfico do IBGE de 2010, a população de Betim conta com 378.089 habitantes (densidade demográfica de 1.102,8 hab/km<sup>2</sup>).

O ponto em Contagem, representativo de área urbana, foi instalado na parte externa de

uma residência no bairro Inconfidentes, tipicamente residencial, próxima à Cidade Industrial de Contagem. É possível observar a partir da imagem de satélite (FIGURAS 1 e 2) a área ocupada pela Cidade Industrial em Contagem, à esquerda do ponto 2, caracterizada por galpões de instalações industriais. A área encontra-se quase totalmente impermeabilizada e é composta por construções de 1 à 4 andares, próximo à uma via de intenso fluxo de veículos entre às 7 h e 9 h e 17 h e 19 h. O ponto situa-se em média vertente, voltada para noroeste, em contexto geomorfológico semelhante à anterior, mas em cota de altitude mais elevada (944 m), no divisor de águas entre os Rios Velhas e o Paraopeba (as coordenadas deste ponto são: 19°57'13"S e 44°2'20"W). A população de Contagem é de 603.442 habitantes (densidade demográfica de 3090,3 hab/km<sup>2</sup>).

O material cartográfico utilizado incluiu

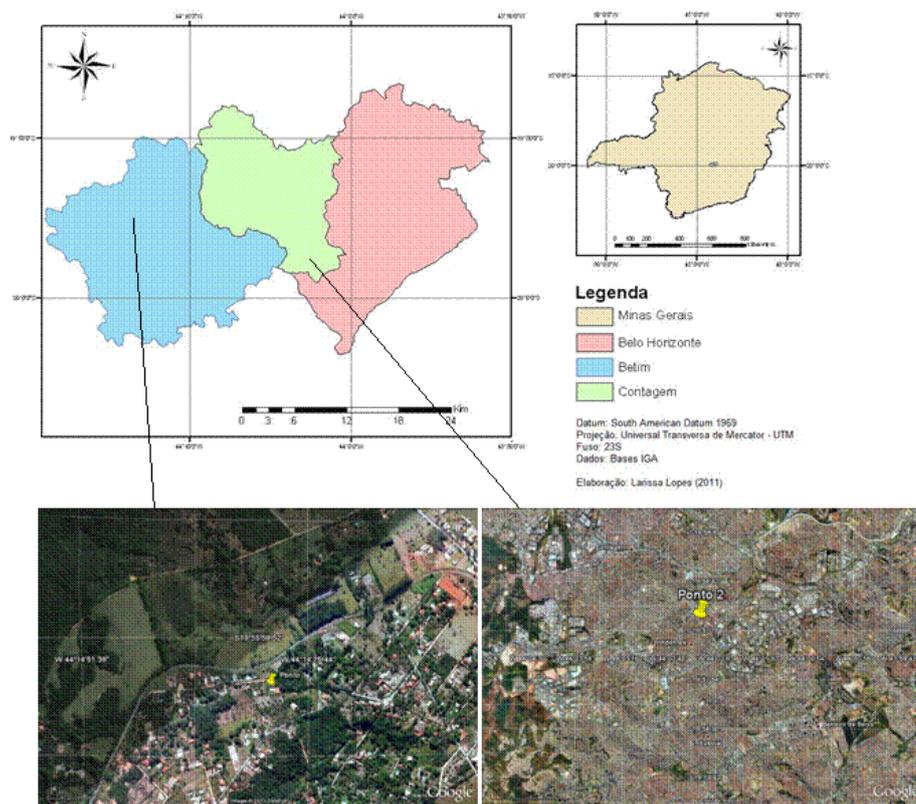


FIGURA 1 - Mapa de Localização e caracterização geral dos postos quando ao padrão geral do uso da terra em Betim (esquerda) e Contagem (direita).

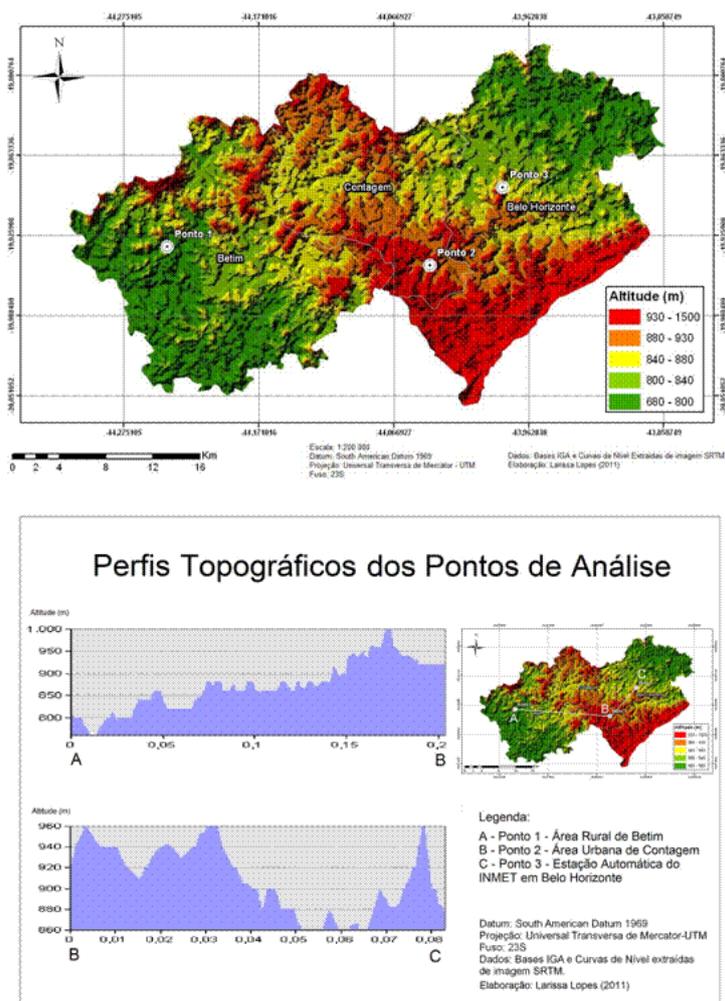


FIGURA 2 - Mapa hipsométrico de Belo Horizonte (ponto C), contagem (ponto B) e Betim (Ponto A) e perfis topográficos.

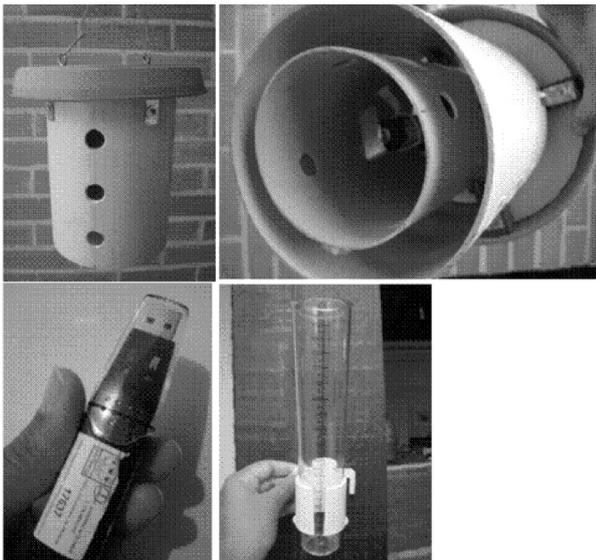
cartas topográficas, dados de uso da terra, imagens de satélite meteorológico e cartas sinóticas. A obtenção e interpretação das imagens de satélite meteorológico e cartas sinóticas (disponíveis em [www.inpe.cptec.br](http://www.inpe.cptec.br)) a partir da identificação dos centros de alta e baixa pressão atmosféricas e padrões de nebulosidade foram fundamentais à definição dos sistemas atmosféricos atuantes na ocasião e, por extensão, dos tipos de tempo no decorrer do período de mensuração.

A mensuração dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foi realizada de forma contínua e simultânea em intervalos de sessenta minutos e compreendeu o período de inverno de 2011, com início em 20/06 e término em 21/09/2011 (94 dias consecutivos). Contou

com a utilização de sensores automáticos (tipo dataloggers - modelo Icel HT 4000) instalados em mini-abrigos construídos para esse fim (FIGURA 03). Os dados da estação meteorológica automática do INMET, sediada no campus da UFMG, foi utilizada para aferição dos instrumentos e controle local das variações dos elementos climáticos.

O abrigo construído baseou-se nos mesmos princípios daqueles utilizados em pesquisas dessa natureza: maximização da ventilação por meio de orifícios e aberturas (laterais, junção do teto e corpo do abrigo e porção inferior), cor branca para garantir elevada refletividade da luz solar e utilização de materiais isolantes que desfavorecem a transmissão e armazenamento de calor.

Embora haja necessidade de ajustes, os materiais utilizados como os canos de PVC (envoltório externo e interno), prato de plástico (teto), madeira (suporte da estrutura), e isopor como material isolante no teto do abrigo, tornaram o aparato leve e resistente, facilitando o transporte e permanência em campo por vários meses seguidos sob condições adversas de tempo.



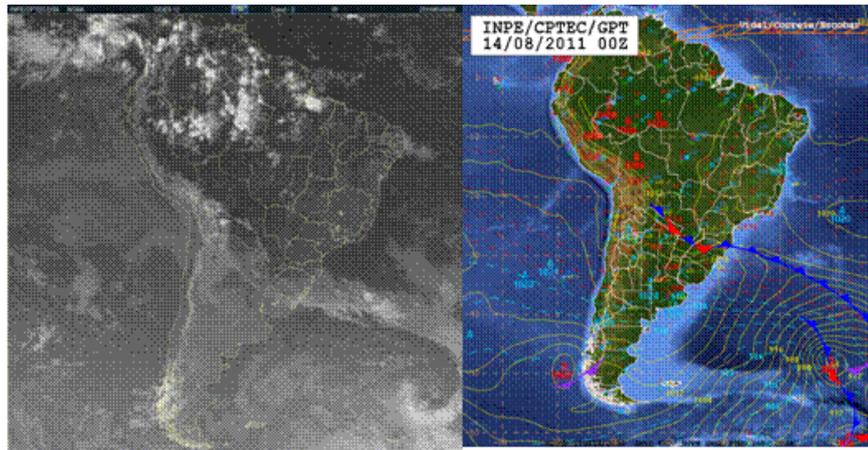
**FIGURA 3** - Abrigo meteorológico acima (visão geral e detalhe inferior com o senso em seu interior), sensor termo-higrométrico data-logger (abaixo à esquerda); pluviômetro (abaixo, direita).

A calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar, antes do início das mensurações, foi conduzida a fim de reduzir o relativo descompasso entre as mensurações (instrumentos diferentes normalmente também utilizam mecanismos diferentes de mensuração), assim como a margem de erro dos valores medidos e tornar comparáveis àqueles oriundos da estação do INMET, tomada aqui como referencial local. Para isso, o aparato (abrigo e sensor) foi instalado na área interna da estação a fim de que fossem efetuadas tomadas simultâneas em intervalos de 60 minutos (ajustadas ao cronômetro da estação) sob condições de tempo e lugar

semelhantes.

Após 18 dias consecutivos (entre 09 e 26/06/2011) o aparato foi recolhido e os dados extraídos, a fim de que fossem calculados índices de correção, obtidos verificando-se o quanto os valores registrados pelos aparelhos afastavam-se daqueles da estação do INMET. Os índices aplicados à correção horária de temperatura variaram entre  $-0,4^{\circ}\text{C}$  a  $+3,0^{\circ}\text{C}$  e os de umidade relativa do ar entre  $-4,0\%$  a  $+15,0\%$ , acrescidos ou subtraídos das respectivas séries horárias de dados antes de se proceder à análise. A equação geral de correlação simples para a temperatura do ar entre os sensores e a estação era expressa como  $y=0,7279x+4,6798$  e  $R^2=0,9708$  e após a correção ficou  $y=1,0352x-0,678$  e  $R^2=0,9889$ . Entre os valores de umidade relativa do ar antes da correção a equação era  $y=0,8065x+12,747$  e  $R^2=0,6869$  e após a correção  $y=0,9019x+6,9493$  e  $R^2=0,9016$ . Em relação aos dados de umidade relativa, o desvio foi maior do que aqueles de temperatura dado ao “erro” induzido pelo próprio sensor na obtenção desse dado e que variava entre  $\pm 3\%$  a  $\pm 6\%$ .

Em relação à análise dos dados, um primeiro procedimento consistiu na sua transformação em tabelas, juntamente com o cálculo das médias, máximas e mínimas diárias, e a sua representação em forma gráfica, revelando aspectos do comportamento geral dos elementos climáticos, dado pela evolução temporal da temperatura e umidade relativa do ar em cada um dos postos. Num segundo momento passou-se à análise de situações horário-diárias específicas (dias mais quentes ou mais frios, dias chuvosos etc.) dentro desse segmento temporal, facilitada pela relativa homogeneidade em termos de sucessão dos tipos de tempo no inverno (inverno de 2011),



**FIGURA 4** - Imagem de satélite GOES IR 14/8/2011 00:00Z e carta sinótica.

Fonte: Inpe - Cptec.

quando predominaram condições de estabilidade atmosférica associada à ação de sistemas anticiclônicos (Sistema Polar e Sistema Tropical Atlântico).

Os resultados foram obtidos tendo em conta a relação da “curva” de variação dos elementos climáticos (temperatura e umidade relativa do ar), nos diferentes locais e horários, com as características físicas do ambiente de coleta (relevo, uso da terra etc.) e do tipo de tempo no dia, decorrentes da repercussão espacial dos sistemas atmosféricos em superfície. O comportamento habitual ou o traço mais recorrente na evolução horário-diária dos elementos climáticos, revelado pela variação dos elementos climáticos em termos de duração, frequência e intensidade, foram tomadas como indicadores do maior ou menor grau de modificação imposto pela superfície às características do ar.

## RESULTADOS

A análise dos dados mensurados em campo evidenciou relativa repetição das condições sinóticas, associada à ação de centros de alta pressão (anticlinal) sobre Minas Gerais (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). Em virtude disso, a resposta térmica e higrométrica do ar, coletada a partir

dos pontos situados em Betim e Contagem, tendeu a se repetir no decorrer dos dias. O dia 14/08/2011, do qual derivam algumas conclusões apresentadas a seguir, foi escolhido como representativo dessa condição.

A partir da imagem de satélite e da carta sinótica (FIGURA 4) do dia 14/08/2011, o sudeste e, em especial o estado de Minas Gerais, encontrava-se sob condições de forte estabilidade atmosférica. Segundo o Boletim Técnico do CPTEC para esse dia [...] “a leste da Região Sudeste observa-se um centro de alta pressão com valor de 1020 hPa com características subtropicais, associada a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)” [...]. Da análise do referido documento, percebe-se que essa situação de estabilidade atmosférica, seja pela atuação do ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) ou por outro sistema atmosférico, se repetiu durante a maior parte dos dias analisados, estendendo essas mesmas condições sobre grande parte do território brasileiro, principalmente as regiões sudeste, centro-oeste e nordeste.

De forma geral, para as duas localidades, os valores de temperatura (FIGURA 5) decrescem durante a noite até o início da manhã, com o início do período de aquecimento solar, após o nascer do sol. Com a

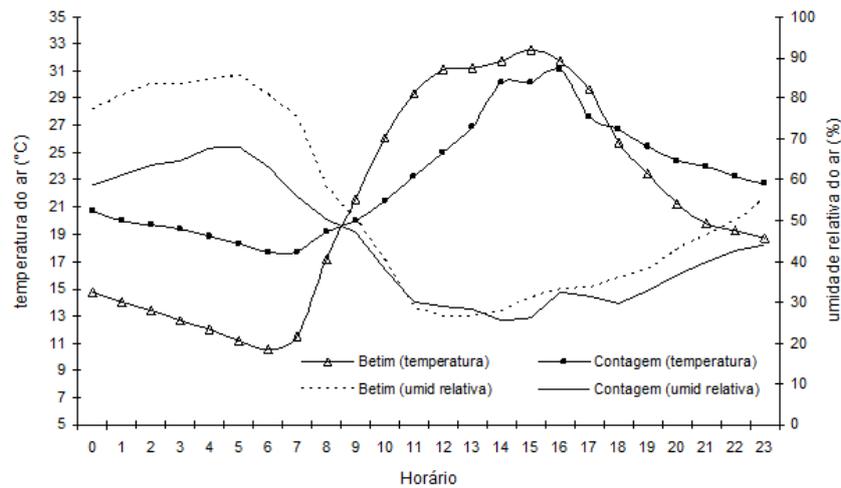


FIGURA 5 - Variações simultâneas da temperatura e umidade do ar em Betim e Contagem (MG) em 14/8/2011.

entrada de radiação solar, a temperatura aumenta até atingir seu pico no período da tarde, geralmente após 14 h. O sol se põe por volta das 18 h e a temperatura cair novamente (em cada ponto, com variações diferentes), durante todo o período da noite até o dia seguinte quando reinicia o processo. É evidente, entretanto, que essa dinâmica acontece em ritmos diferenciados em cada um dos pontos.

Ao longo da noite, as temperaturas dos pontos tende a cair, devido à dissipação da energia armazenada durante o dia, estabelecendo-se balanço negativo de radiação (os objetos e as superfícies cedem calor para a atmosfera e o ambiente em geral, até que isso se inverta, quando esses mesmos objetos drenam calor do ar). A partir do nascer do sol ocorre aumento da temperatura em função da entrada e interceptação da radiação de ondas curtas.

Betim é o primeiro ponto a reagir à entrada de radiação solar, fazendo com que a temperatura aumente rapidamente até, aproximadamente, 15 h, quando a incidência de radiação diminui, reduzindo também a temperatura do solo e, conseqüentemente, a

temperatura do ar próximo à superfície. Contagem também responde rapidamente à entrada de radiação, porém apresenta lenta elevação da temperatura. Essa característica vai de encontro à interpretação de Tavares (2002), descrita na revisão bibliográfica, que atribui esse fato às características do ambiente, mais aberto na área rural de Betim e submetido ao intrincado jogo de reflexão/absorção/armazenamento/transmissão de calor das áreas urbanas em Contagem, não atingindo os valores máximos em Betim. Esse aumento da temperatura do ar em Contagem acontece até 16 h, quando, também de forma gradual e lenta, a temperatura volta a cair.

Após o pôr-do-sol e o fim da entrada de radiação solar, espera-se uma queda rápida da temperatura. Em Betim essa característica é evidente e a temperatura diminui até o nascer do sol, quando se percebe uma mudança abrupta na variação da temperatura, voltando a subir com a entrada de radiação de ondas curtas. Em Contagem, essa queda da temperatura acontece de forma mais lenta, devido à maior dificuldade em dissipar a energia armazenada durante o dia, pelos

equipamentos urbanos.

Outro aspecto presente em Betim refere-se à presença de grandes áreas com vegetação e construções espaçadas favorecendo a ventilação e, conseqüentemente, a dissipação do calor. Além de armazenar menos calor ao longo do dia devido às características moleculares dos materiais presentes em áreas rurais (a vegetação, assim como os materiais orgânicos em geral, são maus condutores de calor e, portanto, maus armazenadores), essa radiação é rapidamente dissipada após o fim do período de insolação, daí o fato de se ter verificado o rápido declínio da temperatura do ar nesse ponto após o pôr-do-sol. Isso justifica, também, tanto os maiores valores de temperatura máxima, encontrados na área rural ao longo do dia, quanto os menores valores de temperatura mínima encontradas em Betim durante a noite e início da manhã.

216

Em Contagem, considerando-se as características dos materiais que compõe o espaço urbano, embora o valor de calor específico de materiais como o concreto (0,2 cal/g.°C) seja baixo em relação aquele do povoamento vegetal (0,8 cal/g.°C, próximo ao valor de calor específico da água de 1,0 cal/g.°C), essa propriedade é compensada pela maior massa e volume dos materiais urbanos, facilitada, também, pela melhor transmissividade desses materiais, aumentando enormemente o componente relativo ao armazenamento de calor, levando mais tempo para responder ao aquecimento solar e dissipação do calor armazenado, repercutindo em menores amplitudes térmicas, relativo ao tempo de resposta ao aquecimento/resfriamento do ambiente e, portanto, das variações de temperatura do ar.

Embora o padrão geral da variação da

temperatura observado nos dois pontos, em relação ao aquecimento do ar, seja semelhante, diretamente relacionado à marcha solar diária, bem como do encadeamento e sucessão dos tipos de tempo, os inúmeros fatores de ordem microclimáticos (características das edificações – porte, densidade, orientação da fachada principal – presença ou não de áreas verdes etc.) e topoclimáticos (principalmente aqueles relativos à topografia: altitude, orientação e exposição das vertentes, dimensão e conformação das bacias hidrográficas etc.), modulam a variação desses elementos.

As maiores diferenças de temperatura entre os dois postos ocorreram durante a madrugada. No dia 14/08/2012 essas diferenças alcançaram valores máximos entre 5,0° e 6,0°C (mais frio em Betim). Além dos fatores mencionados, deve-se acrescentar a influência da topografia e a diferença de altitude entre os dois postos (808 m em Betim, no interior da bacia do rio Paraopeba, e 944 em Contagem, no divisor de águas entre o Paraopeba e o Velhas). A diferença de 136 m entre os postos pode repercutir em diferenças de temperatura superiores a 1,0°C dependendo das condições atmosféricas relativas ao grau de turbulência e umidade. A condição topográfica de Betim favorece, também, o acúmulo de ar frio no período noturno, associada à formação de ventos catabáticos (montanha-vale), ao mesmo tempo em que desfavorece, durante o dia, a dissipação do calor, podendo ocorrer formação de ventos anabáticos (vale-montanha).

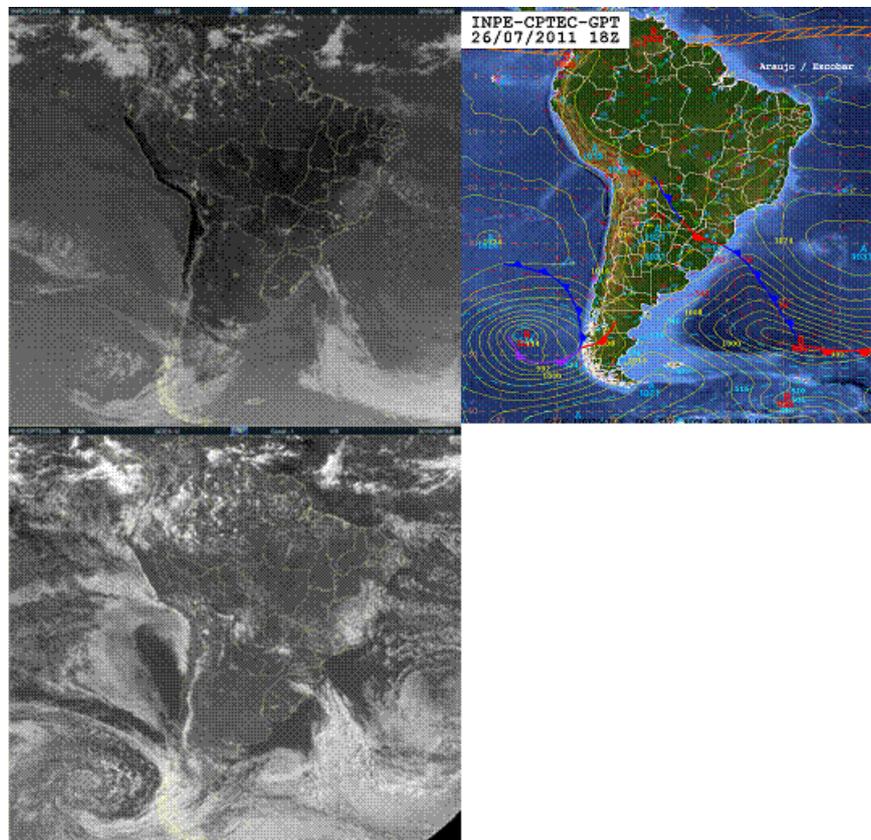
Em relação às variações de umidade relativa do ar, ainda tomando como exemplo o dia 14/08/2011, nota-se, à primeira vista, um comportamento semelhante nos dois pontos.

Novamente as duas localidades apresentam dinâmica climática semelhante, porém com ritmos diferenciados. Em Betim e Contagem verificou-se elevação da umidade nas primeiras horas do dia, até o início do período de maior insolação, quando a temperatura elevava-se, favorecendo o aumento da capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, queda nos valores de umidade relativa (até aproximadamente 15 h), quando a temperatura começava diminuir nos dois pontos, reduzindo, também, a capacidade do ar de reter o vapor, momento em que a umidade relativa do ar voltava a subir. Apesar de apresentarem valores aproximados de umidade mínima diária, Betim apresentava valor maior de umidade máxima pela manhã devido à presença de orvalho sobre as superfícies e a presença de vegetação (contribuindo com evapotranspiração), que

ajudava manter elevados os valores de umidade. Contagem apresentava, assim como nas variações de temperatura, menor amplitude nas variações desse atributo, dada às variações de temperatura e à escassez de fontes de evaporação.

Sendo o comportamento da temperatura inversamente proporcional ao da umidade, notava-se padrão inverso ao da temperatura nos dois pontos. Quanto maior a temperatura, menor a umidade relativa do ar e, da mesma forma, quanto menor a temperatura, maior a porcentagem de umidade.

Embora as condições do dia 14/08/2011 reflitam as condições médias do período, é interessante observar as condições do dia 26/07/2011 (FIGURAS 6 e 7), quando as diferenças de temperatura entre os dois pontos foram bem menos expressivas, tendendo a se igualar em grande parte do período (situação



**FIGURA 6** - Imagem de satélite GOES IR (esquerda, acima) e VIS (abaixo) e carta sinótica - 26/07/2011 18:00Z. Fonte: Inpe/Cptec.

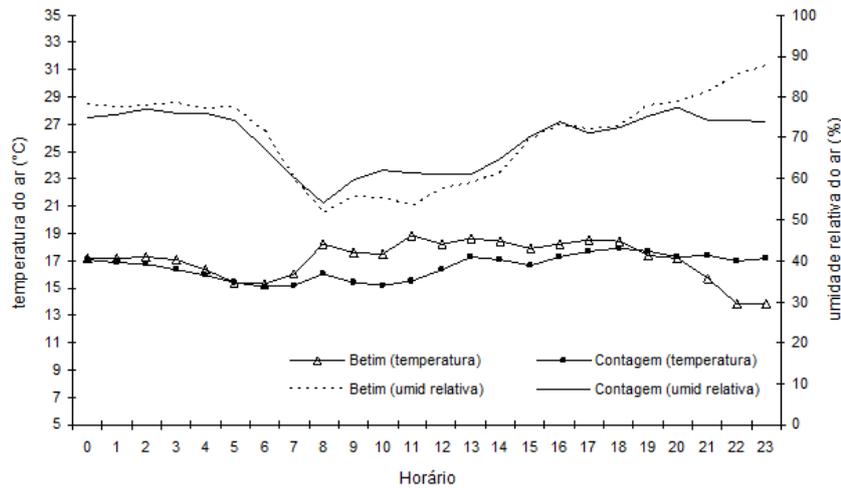


FIGURA 7 - Variações simultâneas da temperatura do ar e da umidade relativa do ar em Betim e Contagem (MG) em 26/7/2011.

semelhante se repetira em três outras ocasiões durante o mês de setembro, inclusive com registro de chuva). A imagem da satélite ([www.cptec.inpr.br](http://www.cptec.inpr.br)), na faixa do infravermelho e do visível, revela a persistência de nebulosidade durante todo o dia. Embora sem registro de chuva dada às condições de relativa estabilidade atmosférica, demonstrada pela formação de nuvens estratiformes, possivelmente altostratus e/ou stratocumulus, obstruindo parte da entrada de radiação direta, favorecendo o componente associado à radiação difusa. Nessas condições, o saldo de radiação de ondas curtas é menor, o que acaba por refletir no menor estoque de calor e, portanto, nas menores amplitudes térmicas verificadas. A carta sinótica de superfície evidencia a ação do ASAS, embora a análise da carta de altitude, de 250 hPA, mostre a influência da corrente de jato e cavados sobre o norte de São Paulo e Goiás, mas, segundo a interpretação do boletim técnico do INPE, sem suporte dinâmico para instabilizar fortemente a atmosfera.

Tal constatação, já evidenciado em outros trabalhos como em Jardim (2007), leva a pensar que nem sempre há condições propícias à definição de um clima urbano, mesmo em

cidades grandes ou metrópoles. Em dias de chuva com elevada nebulosidade, segundo o mesmo autor, as variações de temperatura entre os diversos pontos são mínimas. E se a frequência de dias com essas características for recorrente? Daí, mais uma vez, a importância em considerar o maior leque possível de tipos de tempo, ou seja, repetir o experimento sob diversas condições de tempo.

Situações como aquela detectada por Lombardo (1985), associada à formação de “ilha de calor” de aspecto central, nuclear, acompanhando o relevo convergente da bacia sedimentar paulistana, representa uma das muitas possíveis situações, neste caso associada às condições de tempo estável com baixa nebulosidade e forte aquecimento diurno.

## CONCLUSÕES

Muito do que se produz em ciência gira ao redor de certos consensos. Um deles refere-se à relação entre a temperatura e o conteúdo de carbono na atmosfera. Outro desses consensos se refere ao comportamento térmico e higrométrico do ar verificado no centro das cidades, com valores de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, mais

e menos elevados quando comparados àqueles encontrados em áreas periurbana e rural.

Embora haja alguma raiz de verdadeiro nas considerações acima, a adoção de um consenso inibe outras tentativas de indagações. No primeiro caso não se pode resumir as mudanças do clima à interação de apenas dois elementos do sistema climático. No segundo caso, embora se constitua numa situação perfeitamente verificável, os valores positivos de temperatura encontradas nos centros urbanos em relação às áreas periurbanas e rurais estão restritos a certas circunstâncias sob determinada combinação atmosférica. Alguns dos trabalhos citados no início deste artigo discutem isso.

Tal consideração deriva do fato de se realizarem os experimentos de climatologia urbana exatamente nos dias mais quentes, sob condições de tempo estável, associado à baixa nebulosidade e, conseqüentemente, elevado número de horas de brilho solar e sem ventos ou com ventos fracos, quando, na verdade, deveriam ser considerados todos os tipos de tempo a partir de tomadas sucessivas (contínuas) e simultâneas, já que o clima é uma totalidade (realidade esta considerada por Sorre (1934) e Monteiro (1975) na definição de clima e clima urbano, respectivamente). A partir daí é que se optou pela continuidade temporal do experimento neste trabalho e não restringir as tomadas a alguns horários (embora um procedimento não descarte outro e, certamente, a combinação de ambos geraria resultados mais consistentes).

A relativa diversidade de situações evidenciadas, produto de intrincadas relações entre fatores urbanos e naturais em diferentes localidades, sugere, também, soluções diversificadas (tecnologia de construção civil,

arranjo dos edifícios, áreas verdes etc.). Os trabalhos de autores como Monteiro (1975), Tarifa e Azevedo (2001) e Mendonça e Monteiro (2003) fornecem roteiros de investigação em climatologia urbana, assim como diferentes metodologias a partir de pesquisas aplicadas.

Numa fase inicial dos estudos de clima urbano, quando seriam realizados os diagnósticos (identificação e avaliação dos problemas), a compreensão de cada um dos componentes do meio natural e urbano e sua participação na estruturação das unidades de climáticas, no que diz respeito à gênese, características e articulação desses espaços, é fundamental para se pensar em prognósticos (solução dos problemas). Os prognósticos ou a mitigação dos problemas detectados variam de acordo com o que Monteiro (1975; 2003) denomina de “canais de percepção” ou “subsistemas” do sistema climático: (1) termodinâmico (relativo às variações da temperatura e umidade relativa do ar), (2) físico-químicos (poluição) e impactos hidrometeorológicos (chuvas). Para cada um desses subsistemas o autor define as formas de entrada de energia e matéria, as transformações pelas quais passa essa energia e matéria, os produtos dessas transformações (“ilhas de calor”, concentração pontual de poluentes, enchentes etc.) e as formas de mitigação dos impactos. Em relação a este último aspecto, a solução exigiria a constituição de equipes multidisciplinares (engenheiros, arquitetos, biólogos, geógrafos, médicos etc.).

## NOTAS

<sup>i</sup> Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

E-mail: larissalopes.geo@gmail.com

<sup>ii</sup> Geógrafo; Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP); Professor da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

E-mail: cjardim@yahoo.com

## REFERÊNCIAS

ASSIS, W. L. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial*. Tese (doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Instituto de Geociências. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

AYNSLEY, R; GULSON, L. Microclimate and urban planning in the humid tropics. In: RAPI 27th NATIONAL CONGRESS, 1999, Austrália. *Anais...* Department of Lands, Planning and Environment, 1999. Disponível em: <http://www.lpe.nt.gov.au/devel/planning/rapi/default.htm>

BARRY, R. G; CHORLEY, R. J. *Atmosfera, tiempo y clima*. 4.ed, Barcelona: Omega, 1985.

GARCIA, M. C. M. - *Estudio del clima urbano de Barcelona: la "isla de calor"*. 1990. 193 p. Tese (Doutorado). Barcelona: Universidade de Barcelona, 1990.

FIALHO, E. S. *Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de Viçosa na zona da mata mineira*. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

JARDIM, C. H. *Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas*. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Instituto de Geociências. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2007.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles: O exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

MENDONÇA, F. *O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno. Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR*. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. Clima e planejamento urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Orgs.). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003. pp.93-120.

MONTEIRO, C. A. F. Análise rítmica em climatologia. Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia*, São Paulo, n.01, 1971. pp.1-21.

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Cima Urbano*. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Orgs.). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003. pp.9-68.

MONTEIRO, C. A. F; TARIFA, J. R. Contribuição ao clima de Marabá: uma abordagem de campo subsidiária ao planejamento urbano. *Climatologia*, São Paulo, n.7. 1977.

SETTE, D. M. *O Clima Urbano de Rondonópolis - MT*. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. In: \_\_\_\_ *Traité de Climatologie Biologique et Médicale*. Tradução de José Bueno Conti Paris: M. Piery Masson et Cie Éditeurs, 1934. Vol. 1, pp.1-9. Original em francês.

TARIFA, J. R. A análise topo e microclimática e o trabalho de campo: o caso de São José dos

Campos. *Climatologia*, São Paulo, vol. 13, 1981. pp.1-25.

TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. (Orgs.) *Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática*. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e

Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2001.

TAVARES, R. O clima de Sorocaba-SP: aspectos regionais, locais e urbanos. In: SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.) *Os climas das cidades brasileiras*. Presidente Prudente: [s.n.], 2002.

---