ANOMALIAS TÉRMICAS DE CENTROS URBANOS E OCORRÊNCIA DE GRANIZO NA ZONA LESTE DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO

Luís Gonçalves Longo de Oliveira[1]
Gabriel Pereira[1]
Elisabete Caria Moraes[1]
Flávio Fortes Camargo[1]
Júlio Bandeira Guerra[1]

RESUMO: No decorrer do processo de urbanização, as cidades adquiriram um grande desenvolvimento horizontal e vertical, passando a atuar como grandes modificadoras do clima local. Ao substituir os materiais naturais pelos materiais urbanos, modifica-se o balanço de energia nas cidades, ocasionando uma alteração do clima regional e criando-se condições atmosféricas específicas na área de influência da cidade. Com os dados da banda 6, correspondente à faixa do infravermelho termal (10,4 - 12,5 µm) do satélite ETM+/LANDSAT 7, pôde-se estimar a temperatura da região metropolitana de São Paulo. A análise espacial da distribuição de temperatura possibilitou avaliar a sua possível influência na ocorrência de granizos na zona leste.

ABSTRACT: With the urbanization process, the cities had acquired a great horizontal and vertical development, starting to act as great local climate modifiers. By the substitution of the natural materials by the urban materials, the energy's balance in the cities changes, causing an alteration of the regional climate and creating a specific atmospheric condition in the influence area of the city. With the data of band 6, correspondent to the band of the thermal infra-red (10,4 - 12,5 µm) of ETM+/LANDSAT 7, could be estimate the temperature of the São Paulo metropolitan region, allowing a space analysis of the temperature distribution and its possible influence in the hail occurrence in the east zone.

Palavras-Chave: Campo térmico, Urbanização, Clima urbano.

INTRODUÇÃO

Nos grandes centros urbanos a alteração da natureza ocasionada pelo homem adquire grandes proporções. Nestes conglomerados as propriedades intrínsecas à urbanização ocasionam a alteração do balanço de energia, tanto na faixa de ondas curtas, quanto na de emissão de radiação de ondas longas. Um dos principais agravantes para a formação de "ilhas de calor" é a poluição antropogênica, que induz uma maior retenção da radiação solar pela superfície e, conseqüente, uma maior emissão da radiação de ondas longas pelos materiais urbanos e uma maior retenção desta energia pelos elementos presentes na baixa atmosfera.

O efeito do gradiente de temperatura pode ser considerado como um dos atributos básicos do clima urbano (MONTEIRO, 1990). Caracterizado como uma anomalia térmica, que possui dimensões horizontais (extensão), verticais e temporais, este efeito está intimamente relacionado com o tamanho da cidade, com a quantidade e tipos de construções, com o uso do solo, com o clima e com as condições meteorológicas de um determinado local (OKE, 1982). Sendo assim, o grande

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Cx. Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil; Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), Tel.: (12) 3945-6447; luis, gabriel, bete, fortes, guerra@dsr.inpe.br.

contraste térmico e as anomalias térmicas configuram-se como "fenômenos que associam os condicionantes derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos" (LOMBARDO, 1985). Quanto às sua formação, são sobre as cidades. Oke (1982) descreveu as principais modificações que afetam o gradiente de temperatura nos centros urbanos. Estes fatores são apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Principais causas relacionadas à modificação do gradiente de temperatura nas cidades

Fatores da urbanização responsáveis pelas mudanças no balanço de energia	Alteração no balanço de energia nas camadas de cobertura e limite urbanas
Aumento na área de superfície com propriedades de absorção e poluição do ar	Aumento na absorção da radiação de ondas curtas
Redução da quantidade de céu aberto (*sky view factor*) pelos edifícios	Menor perda de radiação de ondas longas
Fluxo de calor da camada de cobertura urbana, telhados, materiais urbanos	Aumento no *input* de calor sensível e maior armazenamento
Aumento da impermeabilização do solo	Diminuição da evapotranspiração
Redução da velocidade do vento	Diminuição do transporte de calor turbulento

Segundo Oke (1978), na cidade, o comportamento da atmosfera sofre grandes influências antropogênicas, modificando a estrutura, a forma e, principalmente, as trocas de energia com o ambiente. Devido às construções e ao aumento na absorção de radiação, a cidade cria atmosferas específicas, alterando a camada limite, que varia de acordo com as condições meteorológicas locais. Essas alterações na camada de ar adjacente podem criar perturbações atmosféricas e aumentar a altura do topo das nuvens, gerando a possibilidade de queda de granizo, caracterizado pela precipitação na forma de grãos de gelo, com diâmetro superior a 5 mm, geralmente associado a nuvens do tipo cumulonimbus.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva empregar dados do sensor ETM+/LANDSAT 7 na detecção da alteração de intensificação do gradiente de temperatura na região metropolitana de São Paulo, e associar este fato com a queda de granizo na zona leste, nos dias 12/02/2004 e 10/01/2006.

MATERIAL E MÉTODOS

O programa de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING, 1996) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a etapa de processamento de dados, utilizou-se a linguagem espacial para geoprocessamento algébrico (LEGAL) implementada no SPRING. Neste mesmo programa, realizou-se a classificação supervisionada pelo método MAXVER (máxima verossimilhança) para a distinção de uso e ocupação do solo. Nesta classificação, as superfícies foram agrupadas em 5 categorias: urbano, hidrografia, floresta densa, outros tipos de vegetação e solo exposto.

Utilizaram-se os dados digitais (níveis de cinza) do sensor ETM+/LANDSAT 7, obtidos nos dias 02 de fevereiro e 25 de março de 2003, nas bandas 3, 4 e 5 (para a classificação supervisionada) e na banda 6 , cujas resoluções espaciais nominais são de 30m e 60m, respectivamente. Para a obtenção da temperatura da superfície, foi necessária a transformação dos dados digitais provenientes da banda 6 do satélite em radiância. Estas transformações foram realizadas segundo as formulações descritas nas equações 1 e 2 propostas em *Landsat 7 User's Handbook*:

$$L = \{[(L_{\max} - L_{\min})/(NC_{\max} - NC_{\min})]*(NC - NC_{\min})\} + L_{\min} \quad (1)$$

$$Temp(^{o}C) = \{(1282.71)/\ln[(666.09/L)+1]\} - 273.15 \quad (2)$$

onde $\boldsymbol{L_{max}}$ e $\boldsymbol{L_{Min}}$ representam, respectivamente, a radiância máxima e mínima escalonada pelo sensor, $\boldsymbol{NC_{max}}$ e $\boldsymbol{NC_{min}}$ representam, respectivamente, o nível de cinza máximo e mínimo, ***NC*** representa o nível de cinza de cada elemento da imagem (pixel), ***1282.71*** e ***666.09*** são constantes de calibração para a banda do termal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região metropolitana de São Paulo possui atualmente mais de 17 milhões de habitantes e uma densidade demográfica que pode chegar a aproximadamente 11600 hab/km² em algumas regiões centrais da capital (IBGE, 2006). Nota-se que grande parte da região metropolitana pertence à classe urbana (25,11% do total da área) com 1899.32 km², como mostra a Figura 1.

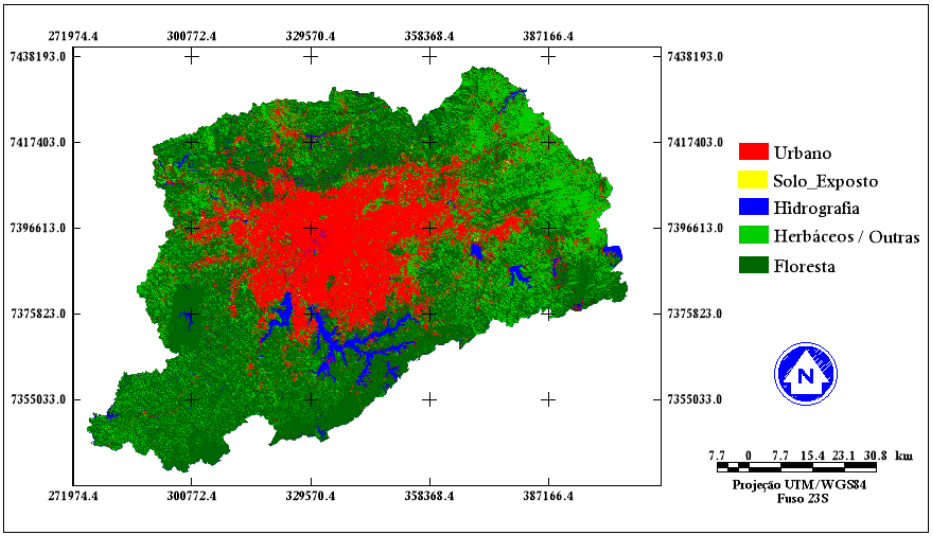

Figura 1 – Mapa do Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de São Paulo

Na passagem do satélite LANDSAT 7 no dia 02/02/2003, as condições meteorológicas apresentavam uma grande estabilidade atmosférica, temperaturas elevadas e ventos do quadrante leste com velocidade fraca entre 3 e 7 km/h (NCEP/NCAR Reanalysis). Como resultado dessa interação atmosférica e das propriedades físicas dos materiais presentes na cena, estimou-se a temperatura de superfície. A Figura 2 apresenta o resultado desta estimativa.

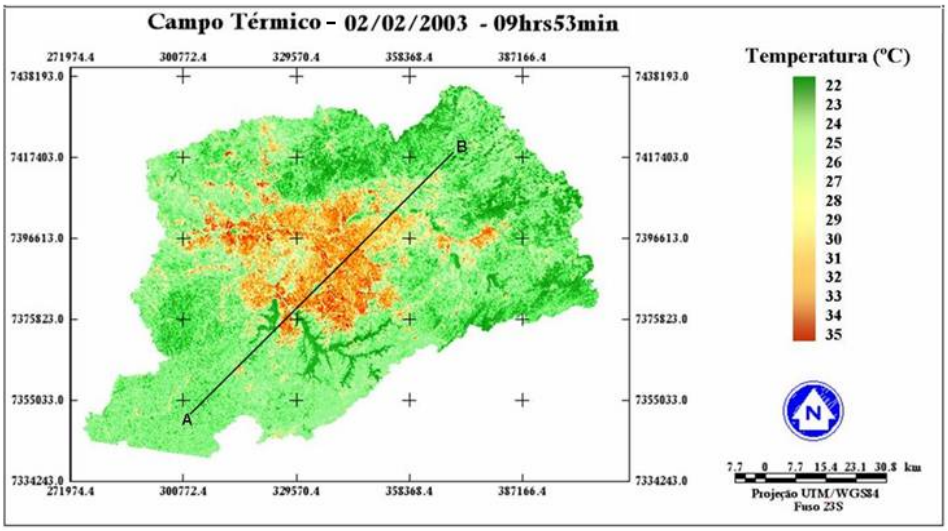

Figura 2 – Mapa do campo térmico para a região metropolitana de São Paulo

Na Figura 2, as áreas densamente urbanizadas apresentam temperaturas muito superiores à temperatura em sua volta, composta basicamente por vegetação (do tipo Arbóreo-Herbáceo-Arbustivo-Gramíneas). Na região central de São Paulo a temperatura alcançou 35ºC, já em regiões periféricas à cidade, a temperatura média variou entre 24 e 26ºC.

A intensa ocupação humana na região ocasiona ao clima local uma profunda modificação, já que as propriedades físicas dos materiais urbanos possuem uma grande capacidade de absorção de radiação eletromagnética e de emissividade de radiação de ondas longas. Essa interação com as camadas de ar adjacentes à superfície propicia trocas de energia entre as camadas, permitindo que a estrutura da atmosfera urbana contraste significativamente com a atmosfera de áreas não-urbanas à sua volta (KUTTLER, 1988). Ao analisar o perfil traçado do ponto A para o ponto B, cuja direção de secção está representada na Figura 2, fica evidente os acentuados contrastes entre áreas vizinhas à região metropolitana. O perfil de temperatura para a região em estudo é apresentado na Figura 3.

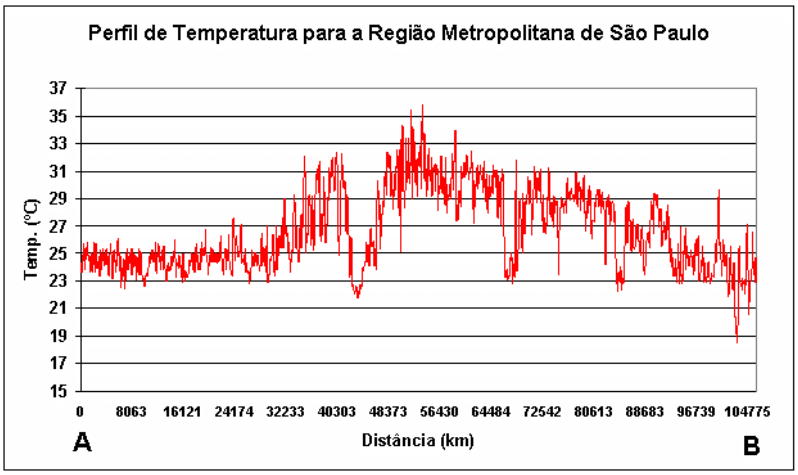

Figura 3 – Perfil de temperatura da Região Metropolitana de São Paulo

Segundo Kuttler (1988) áreas densamente urbanizadas, como ocorre na região metropolitana de São Paulo, combinadas com a falta de vegetação, resultam em baixos valores de calor latente,

umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana. Em certas condições, como estratificação neutra da atmosfera, ausência de ventos fortes e grande incidência de radiação solar, pode-se observar o aumento na camada de mistura urbana.

As interações entre as camadas de ar urbanas e a circulação local acabam por gerar mecanismos que, em determinadas circunstâncias, provocam o aumento do movimento vertical ascendente dos elementos do ar, acarretando a formação de nuvens com topos mais elevados, e, consequentemente, mais frios.

Segundo Vianello e Alves (1991) "para o desenvolvimento de nuvens do tipo cumulonimbus, o decréscimo vertical de temperatura deve ser suficientemente grande para que o perfil de temperatura do ar seja condicionalmente instável, com a presença de ar úmido em baixos níveis. Assim, a parcela de ar se resfria mais devagar do que o faria se não saturasse, atingindo níveis em relação aos quais está mais aquecida e, conseqüentemente, mais leve que o meio que a circunda, acelerando a parcela cada vez mais pra cima. Este mecanismo de convecção pode ser iniciado pelo aquecimento superficial, pelo desvio do escoamento ao incidir sobre uma irregularidade do terreno, entre outros".

Nos episódios de queda de granizo nos dias 12 de fevereiro de 2004 e 10 de janeiro de 2006 as condições atmosféricas predominantes ocasionaram elevado aquecimento da superfície e ventos do quadrante leste/sudeste que permitiam o aporte de umidade vinda do oceano, para a região da grande São Paulo, como demonstra a Figura 4.

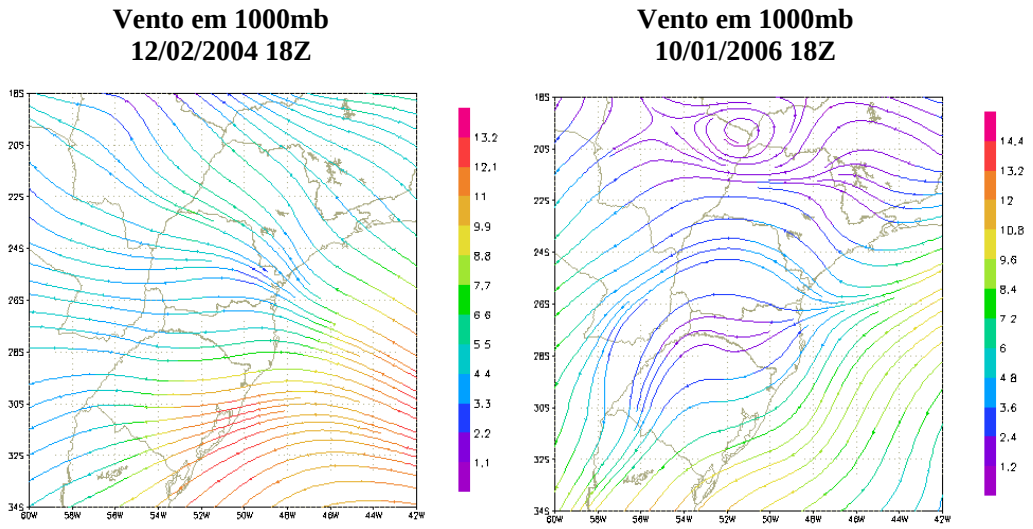

Figura 4 – Direção e velocidade do Vento em 1000 mb demonstrando o aporte de umidade (dados NCEP/NCAR Reanalysis)

Com o grande aquecimento da cidade e condições atmosféricas favoráveis, a parcela de ar adquiriu condições específicas para a formação de nuvens de tempestades, originadas pela convecção de ar quente. Percebe-se que a região onde ocorre a queda de granizo situa-se próxima a

parte central da cidade, onde as trocas de calor com as camadas adjacentes são mais fortes, indicando que as nuvens devem se formar naquela região e se deslocar para a zona leste com grande desenvolvimento vertical, ocasionando, assim, a queda de granizo.

CONCLUSÕES

Centros urbanos constituem-se num grande vetor de transformação da paisagem natural e do clima local de uma região. Essa transformação depende, principalmente, de uma série de fatores estáticos (fisionomia da cidade) e dinâmicos (condições meteorológicas), que impõem aos habitantes das cidades o resultado das interferências humanas na dinâmica dos sistemas ambientais.

A modificação do campo térmico e a alteração do gradiente de temperatura na RMSP nos dias 12 de fevereiro de 2004 e 10 de janeiro de 2006 criaram as condições necessárias para a formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical e, como conseqüência, ocorreram quedas de granizo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em http://www.ibge.gov.br/. Acesso em 15/08/2006

LANDSAT 7 User's Handbook. Disponível em **http://landsat.usgs.gov/index.php**. Acesso em 12/08/2006**.**

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: HUCITEC, 1985, 244 p.

KUTTLER, W. In: GREFEN, K., LÖBEL, J. Spatial and Temporal Structures of the Urban Climate – A Survey. **Environmental Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, 1988.

MONTEIRO, C. A. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um ´´clima urbano´´. **Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 80-114, 1990c.

NCEP/NCAR Reanalysis. National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research. Disponível em http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml. Acesso em 26/08/2006.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

_____. The energetic basis of the urban heat island. **Quart. Journ**. Roy. Met. Soc., 1982, 108, 1 – 24.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

VIANELLO, Rubens L.; ALVEZ, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, Universidade Federal, 1991, 449 p.