

Processamento de dados multiespectrais termais aplicado à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura da superfície nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro

Marcus Andre Fuckner^{1,2}
Elisabete Caria Moraes²
Teresa Gallotti Florenzano²

¹Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM/Centro Regional de Belém
Avenida Júlio César, 7060 – Val-de-Cans – 66617-420 – Belém – PA, Brasil
{marcus.fuckner@sipam.gov.br}

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos – SP, Brasil
{marcus, bete, teresa}@dsr.inpe.br

Abstract. The heterogeneity of land use and land cover in urban areas causes great spatial variation of the thermal surfaces. The results of radiometric changes of five thermal channels of ASTER data, with 90 m spatial resolution, made it possible to obtain surface temperature images for two dates in each of São Paulo and Rio de Janeiro Metropolitan Regions. Despite the low availability of data for comparison, the estimated data was compatible with temperature data registered by automatic weather stations, which attest the thermal data quality obtained by ASTER. In the large urban centers studied, São Paulo and Rio de Janeiro, the heat island did not occur in the classical model. The relief, the verticalization, the land use and land cover, the urban functions and spatial distribution of residential, commercial, industrial and leisure purposes areas, modify the heat island configuration when the thermal contrasts in the intraurban area are analyzed, even with the occurrence of “cold islands”. It was also noticed that the presence of the heat island is related to the living standards of urban occupation in different districts or neighborhoods.

Palavras-chave: ASTER, urban heat island, thermal infrared, intraurban area, ASTER, ilha urbana de calor, infravermelho termal, espaço intra-urbano.

1. Introdução

A característica espectral da radiação eletromagnética (REM) permite a realização de inúmeros estudos da superfície terrestre através dos dados detectados por sensores remotos. Segundo a lei de Planck, a emissão espectral de REM de um corpo é proporcional à sua temperatura. De acordo com as temperaturas presentes no sistema terra/atmosfera, a emissão de REM, conhecida como emitância ou exitância radiante, encontra-se na faixa espectral do infravermelho distante ou termal, em torno de 4 a 100 μm (FEAGLE; BUSINGER, 1980). Os dados coletados por sistemas sensores são, portanto, representativos da temperatura do elemento do sistema terra/atmosfera imageado.

A emitância observada por um sistema sensor no infravermelho termal é função da temperatura e emissividade da superfície, e também das propriedades ópticas da coluna atmosférica localizada no pixel e na sua vizinhança. Como, segundo Salisbury e D'Ária (1992), a maioria dos materiais urbanos apresenta emissividade elevada, esta se torna o principal fenômeno de influência. O sinal registrado pelo sensor pode ser descrito na Equação 1:

$$T_{sat} = \tau \varepsilon T_{sup} + T_{atm} \quad (1)$$

em que: T_{sat} é a temperatura aparente;

τ é a transmitância da atmosfera;

ε é a emissividade;

T_{sup} é a temperatura da superfície; e

T_{atm} é a temperatura média ponderada pela modelagem da emissão da atmosfera.

A heterogeneidade na cobertura e uso das áreas urbanas é refletida na grande variação espacial das superfícies termais. Como consequência, vários estudos urbanos têm sido desenvolvidos como, por exemplo, a análise da relação entre a temperatura da superfície e o uso da terra (LO; QUATTROCHI, 2003; WENG et al., 2004), os padrões de temperatura da superfície em função da geometria, orientação e altura dos edifícios (NICHOL, 1996), e a representação das temperaturas da superfície a partir de dados com diferentes resoluções espaciais (SOUSA; BAPTISTA, 2005), entre outros.

Em geral são estudados dois tipos de ilhas de calor: a da camada do dossel urbano, conhecida como *Urban Canopy Layer* (UCL) e a da camada limite urbana ou *Urban Boundary Layer* (UBL) (OKE, 1976). A ilha de calor do dossel urbano está localizada abaixo do nível dos telhados ou cobertura das edificações e produz processos de microescala atuando nas ruas (cânions) entre os edifícios. Para caracterizar essas ilhas de calor são utilizados dados de temperatura obtidos a partir de imagens de satélite, corrigidos para os efeitos da atmosfera, chamados de temperatura da superfície.

A configuração clássica de uma ilha de calor verifica-se com o aumento na temperatura da superfície em direção às áreas centrais do espaço urbano, mais densamente ocupadas. Uma ilha de calor pode ser estudada considerando a magnitude da diferença de temperatura observada entre a cidade e o ambiente rural circundante. Dada a natureza heterogênea do ambiente urbano, Nichol (1996) argumenta que os estudos que utilizam dados termais de alta resolução espacial não analisam as ilhas de calor, mas os padrões da temperatura de superfície. Para a autora, ilhas de calor é um termo aplicável para estudos que envolvem dados de baixa e média resolução espacial.

Oke (1982) elaborou um dos primeiros estudos sobre clima urbano, conceituando e caracterizando fisicamente a ilha de calor. No Brasil, o primeiro estudo sobre esse fenômeno foi o de Lombardo (1985), com imagens multitemporais AVHRR da cidade de São Paulo. Detectando cerca de 10°C de diferença de temperatura, seus resultados permitiram caracterizar a presença de uma ilha de calor em São Paulo segundo a configuração clássica.

Os resultados da comparação realizada por Chen e Zhou (2004) entre temperaturas medidas pelos sensores ETM+/Landsat e ASTER¹ mostraram uma alta correlação (R^2 variando entre 0,85 e 0,95). Nos diagramas de dispersão dos dados das duas cenas analisadas, considerando como referência para o sensor ETM+ tanto a banda termal de alto ganho quanto a de baixo ganho, foi verificada a presença de colunas regulares verticais com amplitude de 10°C ou mais. Isto indica que, para diferentes locais (pontos em uma imagem), as temperaturas medidas pelo ETM+ podem ser as mesmas, enquanto as temperaturas medidas pelo ASTER podem variar 10° C ou mais para os mesmos locais, ou seja, Chen e Zhou (2004) concluíram que o ASTER é mais eficiente na discriminação das temperaturas em relação ao ETM+. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é efetuar o processamento dos dados multiespectrais termais ASTER para a obtenção de imagens temperatura da superfície que permitam analisar sua variabilidade espacial em área das Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e Rio de Janeiro (RMRJ).

2. Material e Métodos

Foram utilizados dados coletados nas cinco bandas termais ASTER (10 a 14) com 90 metros de resolução espacial. Para processamento das transformações radiométricas e registro das imagens foi utilizado o programa *ENVI 4.2*, e na elaboração de mapas o programa *ArcGIS 9.1*. As imagens termais foram corrigidas segundo dois processos: (1) correção para absorção e reemissão atmosférica; e (2) correção para emissividade. Para que seja obtida a imagem da

¹Chen e Zhou (2004) utilizaram como referência o produto ASTER temperatura de brilho (nível 2).

temperatura de superfície, em etapa anterior à conversão dos dados termais para emissividade e temperatura é imprescindível efetuar a correção dos efeitos atmosféricos na imagem de satélite. A temperatura da superfície da Terra corrigida para emissividade pode ser computada segundo a Equação 2 (ARTIS; CARNAHAN, 1982):

$$T_s = \frac{T_c}{1 + \left(\lambda \times \frac{T_c}{\gamma} \right) \ln \epsilon} \quad (2)$$

em que: λ é o comprimento de onda da radiação emitida (para o pico da resposta espectral de cada banda e média de sua largura);

T_c é a temperatura aparente;

$\gamma = h * c / \sigma$ (σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($1,38 * 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$), h é a constante de Planck ($6,626 * 10^{-34} \text{ J.s}$), c é a velocidade da luz ($2,998 * 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

A correção foi efetuada através de um algoritmo de Compensação Atmosférica da Cena – ISAC (*In-Scene Atmospheric Compensation*) (YOUNG et al., 2002) implementado no programa *ENVI 4.2*, que permite corrigir as imagens de todos os canais termais do sensor (5) e, desta forma, possibilita a comparação dos resultados canal por canal. O algoritmo ISAC possibilita corrigir os efeitos da atmosfera de dados termais multiespectrais com base nos parâmetros de radiação coletados pelo próprio sensor remoto, sem a necessidade de dados meteorológicos auxiliares, freqüentemente indisponíveis ou inadequados, e de modelagem atmosférica (YOUNG et al., 2002). No processo de correção pelo método da Compensação Atmosférica da Cena, a temperatura de superfície de cada pixel é estimada e usada para se obter a temperatura aparente com base na equação de Planck, assumindo-se uma emissividade igual a 1. Em seguida, é ajustada uma linha no diagrama de dispersão entre a emitância e a temperatura aparente. Os percentuais de radiação atenuada e transmitida pela atmosfera são derivados a partir dos coeficientes de regressão dessa linha (RSI, 2005).

Nas imagens tratadas neste estudo foram utilizados todos os pixels para o cálculo da equação de regressão normalizada, considerando uma resposta de ruído do sensor de 2,5%. O ajuste por Regressão Normalizada foi adotado, pois conforme RSI (2005), o método *Top of Bins* é susceptível ao ruído do sensor que pode ocorrer no topo do diagrama de dispersão.

Após a correção atmosférica, a separação entre a emissividade e a temperatura nos dados termais foi obtida através do método Normalização da Emissividade (*Emissivity Normalization*). Este método calcula a temperatura para cada pixel em cada banda, partindo de um valor fixo de emissividade. Os valores mais altos de temperatura para cada pixel são usados no cálculo dos valores de emissividade segundo a equação de Planck. Comparando as técnicas de Normalização da Emissividade e seleção de Banda de Referência, Kealy e Hook (1993) observaram que o método de Normalização da Emissividade possui maior exatidão para estimar a temperatura do que a escolha de uma Banda de Referência.

Após as transformações radiométricas as imagens foram registradas com base no mosaico *GeoCover (S-23-20_2000)* da NASA e as imagens temperatura, em Kelvin (K), foram convertidas para graus Celsius (°C). As imagens foram classificadas segundo intervalos representativos de temperatura, considerando a amplitude térmica encontrada para cada data, e os resultados foram analisados considerando dados medidos por estações meteorológicas.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os valores mínimos e máximos de temperatura encontrados considerando toda a área de estudo para cada imagem utilizada. Ao se comparar as imagens de temperatura do Rio de Janeiro referentes aos anos de 2003 e 2004 observa-se que os valores máximos estimados para 2003 foram consideravelmente superiores. Esta diferença está relacionada com pixels de queimada identificados em 25/04/2003.

Tabela 1. Temperaturas mínimas e máximas estimadas.

Data da Imagem	Mínima	Máxima
13/10/2002 (SP)	17,33	45,67
17/05/2006 (SP)	15,39	37,37
25/04/2003 (RJ)	19,8	62,61
02/09/2004 (RJ)	20,07	43,67

A partir das transformações radiométricas dos dados termais, os padrões de temperatura da superfície foram analisados considerando sua aplicação para o estudo das ilhas de calor do dossel urbano, segundo o recorte temporal e espacial adotado. As temperaturas de referência para a análise das imagens processadas de São Paulo foram obtidas de estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e da estação meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP)². Os valores registrados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Temperaturas de referência para São Paulo (°C).

Estação	13/10/2002	17/05/2006
Parque Dom Pedro II	26,1	-
Ibirapuera	-	18,8
Taboão da Serra	-	19,3
Pinheiros	-	17,8
IAG (Água Funda)	25,4	18,5

Fonte: CETESB e IAG/USP.

Embora o número de estações que registraram valores de temperatura para a área de estudo de São Paulo em horário próximo ao da passagem do satélite, ou seja, entre 10:00 e 10:30 h da manhã, seja inferior ao verificado para o Rio de Janeiro (Tabela 3), foi possível observar concordância entre seus valores e os valores apresentados pelas imagens de satélite processadas. Notadamente a imagem de 17/05/2006 apresentou valores em média 10°C inferiores aos registrados na imagem adquirida em 13/10/2002 (Figura 1).

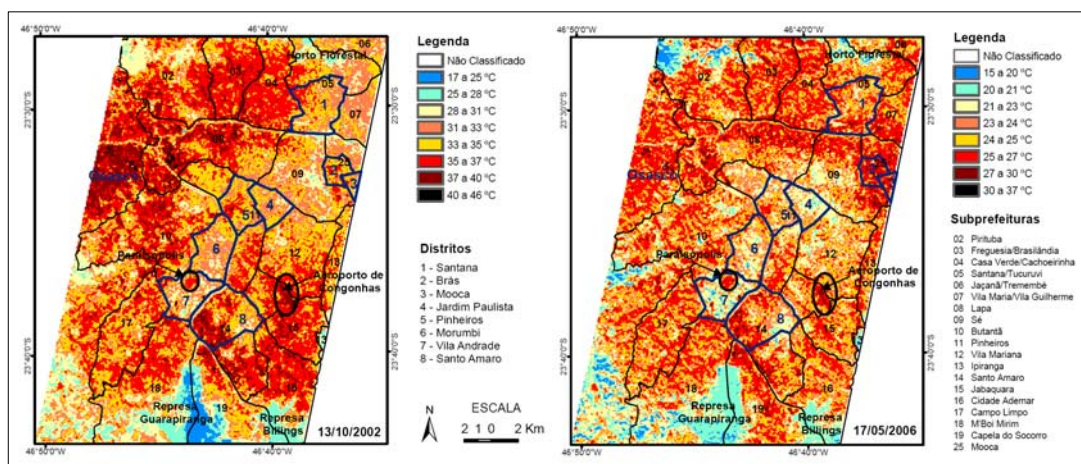


Figura 1. Mapas de temperatura de São Paulo.

Analisando a distribuição espacial da temperatura em São Paulo, observa-se que regiões apontadas por Tarifa e Armani (2000) apresentaram temperaturas relativamente maiores nas duas imagens. Um exemplo é parte da zona leste do município de São Paulo. Na região mais

² Estações meteorológicas automáticas são as que registram dados continuamente, amostrados em intervalos de 10, 15, 30 minutos ou outro, enquanto as estações convencionais registram dados apenas em horários estabelecidos internacionalmente, que correspondem às 12:00, 18:00 e 24:00 h UTC (horário de Greenwich).

baixa da Moóca/Brás (zona leste), caracterizada por um vale plano, rebaixado e com telhados e superfícies impermeáveis (das avenidas e ferrovias) que absorvem muito a radiação solar, temperaturas elevadas foram detectadas na cena de 2006.

Entre os alvos que apresentaram maiores temperaturas, comparadas às da área circundante, destacam-se a pista do aeroporto de Congonhas e a favela de Paraisópolis, em ambas as datas. A favela de Paraisópolis apresenta temperaturas superiores às áreas adjacentes, correspondentes aos distritos do Morumbi e à área de condomínios verticais de alto padrão no distrito de Vila Andrade. Distritos altamente arborizados, a exemplo do Jardim Paulista, apresentam temperaturas mais amenas se comparadas às de distritos vizinhos menos arborizados, tais como Pinheiros (núcleo antigo de Pinheiros).

A zona oeste é área predominantemente comercial e residencial de médio e alto padrão com porcentagem de áreas verdes variando de média a alta, incluindo, neste entorno próximo, o Campus da USP. Foram verificadas temperaturas mais amenas nessa região. Osasco é uma aglomeração urbana de grande porte e aparece como sendo mais quente em relação às demais, principalmente na imagem de 2002, apresentando temperaturas semelhantes às da baixada da Mooca/Brás. Tarifa e Armani (2000) também observaram este comportamento para esta região em seu trabalho. Ao sul, elevadas temperaturas também foram registradas para a área industrial de Santo Amaro.

A idéia de que as áreas centrais das grandes cidades e metrópoles são ilhas de calor é questionada por Tarifa e Armani (2000). Em São Paulo, por exemplo, conforme a Figura 1, a verticalização do núcleo urbano central da metrópole parece exercer um efeito no sentido de atenuar a temperatura. Esta área é fortemente sombreada. No seu conjunto ou na maior parte, e no horário (aproximadamente 10:00 h) em que as imagens de satélites foram tomadas, as áreas mais verticalizadas apresentaram temperaturas de 1 a 2 °C inferiores às de outras áreas com edificações de menor gabarito, mesmo apresentando a mesma proporção de vegetação. Muitas dessas áreas não recebem luz solar em praticamente nenhum horário do dia, criando “ilhas de frescor” ou “ilhas de frio”, uma realidade complexa. O antigo núcleo do distrito de Santana, hoje área altamente verticalizada, também apresentou característica semelhante, menos aquecido que o seu entorno, nos resultados desse trabalho, ressalvadas as condições de validade para o horário das 10:00 h da manhã.

As temperaturas de referência para a comparação com os resultados obtidos a partir das imagens de satélite do Rio de Janeiro foram registradas por estações de monitoramento da qualidade do ar da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) e Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (SMAC) (Tabela 3). Apenas algumas estações registram dados meteorológicos, entre os quais, a temperatura. Houve dificuldade na obtenção de dados de temperatura do Rio de Janeiro por não existirem estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na área de estudo, e também pelo fato de as universidades locais não disporem desses equipamentos.

Tabela 3. Temperaturas de referência para o Rio de Janeiro (°C).

Estação	25/04/2003	02/09/2004
São Cristóvão	33,0	28,2
Saenz Peña (Tijuca)	-	27,5
Largo da Carioca (Centro)	32,0	29,4
Cardeal Arcoverde (Copacabana)	34,8	29,6
Barra da Tijuca	-	31,0
Lagoa	-	24,5

Fonte: FEEMA e SMAC.

Os valores apresentados pelas imagens de temperatura foram coerentes com as medidas de referência. Os dados das estações apontaram menores temperaturas para 02/09/2004 e isto pôde ser observado nos corpos d'água da área de estudo (Figura 2), embora em 25/04/2003

haja uma ligeira diferença (para menos) nas temperaturas médias da zona norte do Rio de Janeiro³.

Analisando os mapas de temperatura da área de estudo do Rio de Janeiro (Figura 2), verifica-se que algumas áreas mais quentes correspondem a afloramentos rochosos, tal como pode ser observado nas imagens para a Pedra Bonita e Pedra da Gávea e para o conjunto formado pelos morros do Pão de Açúcar e da Urca. Outros elementos da superfície que se destacaram por apresentar elevadas temperaturas foram os corredores viários, a exemplo das Avenidas das Américas e Ayrton Senna, com larga cobertura asfáltica, material de rápido aquecimento, assim como o Autódromo de Jacarepaguá.

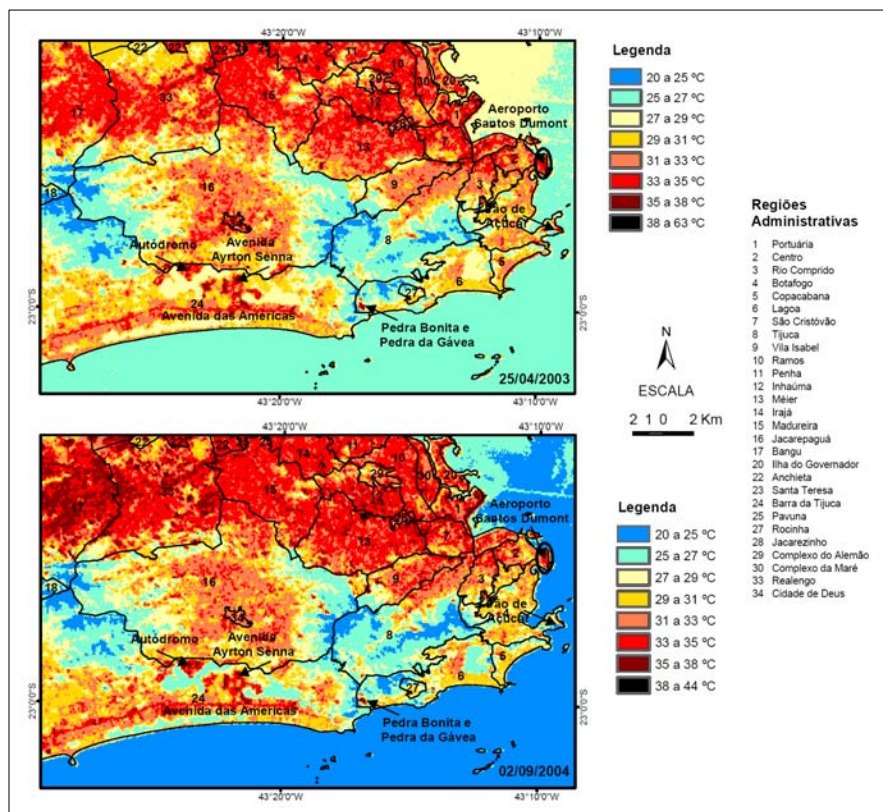


Figura 2. Mapas de temperatura do Rio de Janeiro.

Para a área de estudo do Rio de Janeiro não foi verificada grande diferença entre as temperaturas registradas em cada data. Nas duas datas as águas interiores das lagoas apresentaram temperaturas superiores àquelas encontradas no Oceano Atlântico e na Baía de Guanabara, cujas águas também sofrem aquecimento ao norte da Ponte Rio-Niterói, à medida que se distanciam das águas oceânicas. Este aquecimento também está associado às diferenças de batimetria. As vertentes voltadas para o norte do Maciço da Tijuca apresentaram maiores temperaturas se comparadas às vertentes voltadas para o sul, mais próximas do mar e susceptíveis à atuação das brisas marítimas. Considerando também o efeito da inclinação do eixo terrestre em relação ao plano do eixo de sua translação (eclíptica), observa-se que ao longo de todo o ano, as vertentes voltadas para o norte são mais iluminadas do que as vertentes voltadas para o sul.

³ Para a avaliação dos resultados obtidos com o processamento das imagens de satélite não foi calculado o índice de correlação ou outra estatística em virtude do reduzido número de observações. O objetivo deste trabalho não foi, em suma, validar os mapas de temperatura quanto à exatidão dos valores registrados, mas sim, analisar o contraste entre as respostas verificadas no meio intra-urbano.

Quando os mapas de temperatura são apresentados sobrepostos a modelos digitais de elevação gerados a partir das bandas 3N e 3B das mesmas imagens ASTER em uma visualização tridimensional (Figura 3), observa-se um forte indicativo da relação entre a temperatura e a topografia. Diferentemente do que ocorre em São Paulo, Brandão (1996) aponta que a ilha de calor configurada na cidade do Rio de Janeiro reflete a diversidade de seus microclimas, propiciados por sua condição de cidade litorânea estrangulada por maciços montanhosos. Nela se verifica a grande influência desses aspectos geocológicos e dos padrões variados de morfologia urbana nos contrastes térmicos espaciais.

Em São Paulo e no Rio de Janeiro, a verticalização, configurando-se como uma cortina de concreto, canaliza os ventos em determinadas situações, enquanto que em outras representa uma barreira à circulação do ar. Esse fenômeno pode ser observado em eixos viários altamente verticalizados, com reduzida presença de áreas verdes ou de lazer entre os edifícios, bem como de edifícios de menor gabarito. As avenidas Rio Branco e Nossa Senhora de Copacabana, no Rio de Janeiro, e Paulista e Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo, se enquadram nessa condição. Além disso, mais especificamente no Rio de Janeiro, os maciços costeiros representam uma barreira à circulação das brisas marítimas para a zona norte da cidade, a sotavento, situação esta que é agravada em virtude da falta de arborização.

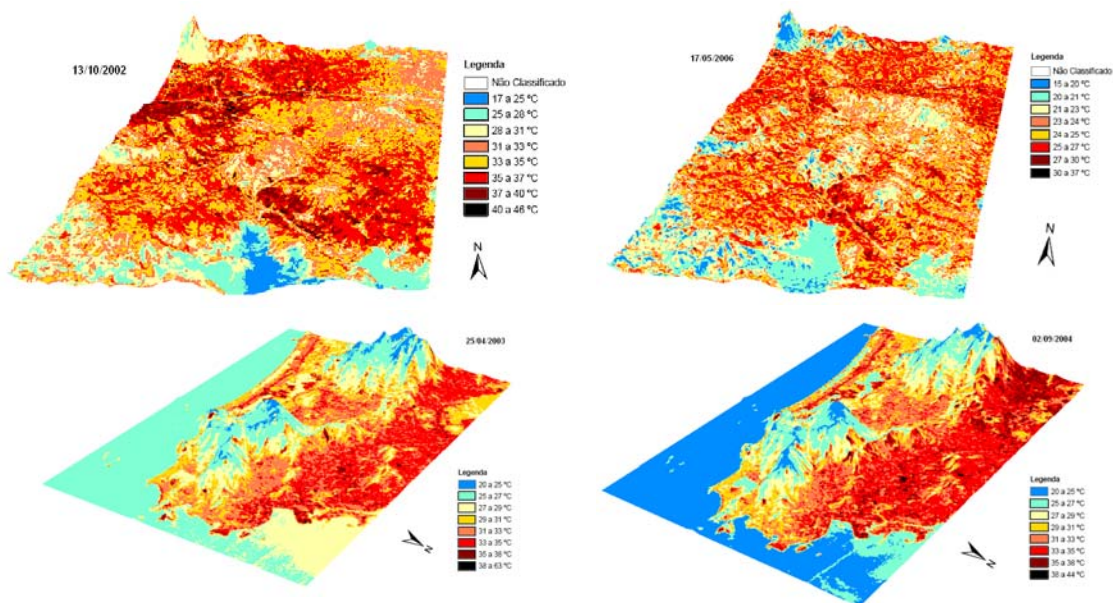


Figura 3. Visualização dos mapas de temperatura sobrepostos a modelos digitais de elevação.

4. Conclusões

As áreas urbanas e metropolitanas intensamente transformadas devido às grandes modificações não planejadas e ocasionadas pelas atividades industriais, pelos complexos viários e pelas edificações em detrimento das áreas verdes contribuem, em geral, para o aumento da temperatura e, conseqüentemente, para a intensificação do efeito de ilha de calor. Dada a dinâmica destas transformações, a interpretação de imagens de temperatura para estas áreas não é um procedimento fácil, sobretudo pela complexidade dos fatores envolvidos, como as características da cobertura da superfície, morfologia, materiais e densidade.

Apesar da pequena quantidade de dados disponíveis para comparação, os dados estimados foram compatíveis com dados de estações meteorológicas, o que atesta a qualidade dos dados termais adquiridos pelo ASTER, considerando a precisão absoluta de 1 K ou menos (faixa de 270 a 340 K) informada por JPL (2007) para os seus produtos de temperatura aparente. Não pôde ser feita aferição de campo, pois se trabalhou com imagens de catálogo.

Dados ASTER permitiram analisar o contraste entre as respostas verificadas no meio intra-urbano, a fim de caracterizar padrões de temperatura da superfície. Nas Regiões estudadas, correspondentes aos núcleos das metrópoles nacionais do Brasil, a ilha de calor não ocorre à maneira clássica, e fatores discutidos neste trabalho, até mesmo padrões socioeconômicos de ocupação urbana em diferentes bairros ou distritos, alteram sua configuração quando submetida a uma análise intra-urbana, até mesmo com o surgimento de “ilhas de frio”. Em estudos futuros, os resultados obtidos com as imagens ASTER serão comparados com o processamento de dados termais Landsat para as mesmas áreas de estudo.

Agradecimentos

Ao Carlos Roberto de Souza Filho, pelas imagens ASTER. Ao Ângelo Teixeira, pela revisão. Ao INPE, PG-SER e CNPq.

Referências

- Artis, D. A.; Carnahan, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 12, n. 4, p. 313-329, Sept. 1982.
- Brandão, A. M. P. M. **O Clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. 362p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1996.
- Chen, W.; Zhou, G. Comparison of satellite measured temperatures using Terra ASTER and Landsat ETM+ data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 3, Sept. 2004, p. 1723-1726.
- Feagle, R. G.; Businger, J. A. **An introduction to atmospheric physics**. Orlando: Academic Press, 1980. 432p.
- Jet Propulsion Laboratory (JPL). California Institute of Technology. **ASTER overview**. Disponível em: <<http://edcdaac.usgs.gov/aster/asteroverview.asp>>. Acesso em: 18 jul. 2007.
- Kealy, P. S.; Hook, S. J. Separating temperature and emissivity in thermal infrared multispectral scanner data: implications for recovering land surface temperatures. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 31, n. 6, p. 1155-1164. Nov. 1993.
- Lombardo, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.
- Nichol, J. E. High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. **Journal of Applied Meteorology**, v. 35, n. 1, p. 135-146, Jan. 1996.
- Oke, T. R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands, **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-277, 1976.
- _____. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, Jan. 1982.
- Research Systems Incorporated (RSI). **ENVI user's guide**. Version 4.2. Boulder: RSI, 2005.
- Salisbury, J. W.; D'Ária, D. M. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μm atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, v. 42, n. 2, p. 83-106, Nov. 1992.
- Sousa, D. O.; Baptista, G. M. M. Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4525-4530.
- Tarifa, J. R.; Armani, G. Unidades climáticas urbanas da cidade de São Paulo. In: São Paulo. Prefeitura do Município de São Paulo. **Atlas ambiental do município de São Paulo – Fase I: “Diagnósticos e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no município de São Paulo”**. São Paulo: PMSP, 2000. 86p.
- Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, Feb. 2004.
- Young, S. J.; Johnson, B. R.; Hackwell, J. A. An in-scene method for atmospheric compensation of thermal hyperspectral data. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D24, 4774, ACH 14, 2002.