

ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS À SUPERFÍCIE NA CIDADE DO RECIFE, UTILIZANDO IMAGENS TM – LANDSAT 7

Elvis Bergue Mariz MOREIRA¹

Josiclêda Domiciano GALVÍNCIO²

RESUMO

A temperatura à superfície é um dos principais dados que podem ser estimados a partir das imagens na faixa do espectro eletromagnético do infravermelho termal. Essas informações têm significativa relevância científica com contribuições importantes para o planejamento urbano. O processo de urbanização na cidade do Recife, concernente aos ambientes construídos, atrelados a falta de planejamento adequado e a baixa taxa de áreas verdes tem contribuído para a modificação do balanço de energia, havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e conseqüentemente a formação de ilhas de calor. O presente trabalho teve como objetivo analisar a distribuição espacial das temperaturas na cidade do Recife através de imagem de satélite Landsat 7. Para tanto se utilizou técnica de sensoriamento remoto para o cálculo das temperaturas à superfície, e conseqüentemente foram aplicadas técnicas de geoprocessamento, permitindo uma análise do campo térmico da região. Com a espacialização da temperatura pode-se observar a variação de temperatura entre os vários pontos da região em estudo. As áreas que apresentaram as maiores taxas de áreas verdes destacaram-se com as menores temperaturas. A região sul onde se destacaram as áreas dos bairros de Boa Viagem e o Aeroporto apresentou as maiores temperaturas. Portanto as áreas onde predomina as construções verticais atreladas a e reduzida cobertura arbórea contribuem de forma direta para o aumento da temperatura. Estas áreas de elevadas temperaturas podem ser consideradas como ilha de calor. Foi possível constatar uma amplitude térmica de 5°C.

Palavras-chave: Temperatura, sensoriamento remoto, planejamento urbano.

ABCSTRAT

The temperature at the surface is a major data that can be estimated from the images in the range of the electromagnetic spectrum of the thermal infrared. This information has significant scientific relevance with important contributions to urban planning. The process of urbanization in the city of Recife, concerning the built environment, coupled to lack of proper planning and low rate of green areas has contributed to the change in the balance of energy, with greater issuance of long waves by urban areas and therefore the training islands of heat. This study aimed to examine the spatial distribution of temperatures in the city of Recife through imaging satellite Landsat 7. The remote sensing techniques were used to calculate the surface temperature, and after geo-technical analysis were made to permit the analysis of the thermal field of the region. With the spatialization of temperature you can see the variation in temperature between the various points of the region under study. The areas with highest rates of green areas highlighted at the lower temperatures. The South region where highlighted the areas of the districts of Boa Viagem and Airport which showed the highest temperatures. However, the areas were dominate the vertical

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFPE. E-mail: elvisberg@hotmail.com.

² Professora Adjunta do Departamento de Ciências Geográficas – UFPE. E-mail: josicleda@hotmail.com.

constructions with reduced tree cover contributes so directly to the increase in temperature. These areas with high temperature can be considered like the heat island. It was possible to see a temperature range of 5°C.

Key-words: Temperature, remote sensing, urban planning.

1. INTRODUÇÃO

Nas ultimas décadas as cidades brasileiras assistirem a um conturbado processo de urbanização. Fato que se observa pela grande concentração de pessoas nos grandes centros urbanos, entretanto, este crescimento não significou melhoria na qualidade de vida da população. Uma metrópole sem planejamento adequado do uso da terra, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida e com poucos recursos técnicos, pode colocar em risco a qualidade de vida dos seus habitantes (LOMBARDO, 1980).

Ao longo dos últimos anos o avanço tecnológico na área de sensoriamento remoto tornou disponível um crescente número de modernos e sofisticados sistemas sensores capazes de gerar imagens em diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas. Este salto tecnológico proporcionou também o surgimento de sensores com canais no espectro do infravermelho termal com resoluções espaciais e espectrais que podem permitir a estimativa da temperatura na superfície terrestre (T_s) que é um parâmetro relevante nos processos físicos à superfície terrestre em escala regional e global, podendo ser utilizada como indicador de degradação terrestre (LOMBARDO, 1978).

A temperatura da superfície frequentemente tem sido tema de pesquisas em trabalhos científicos (BECKER e LI 1990; KERR *et al.*, 1992; PRATA, 1994b; ULIVIERI *et al.*, 1994; SOBRINO, LI e BECKER, 1994) e tem sido bastante exigida para várias aplicações na meteorologia, climatologia e estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície.

O crescente processo de urbanização na cidade do Recife concernente aos ambientes construídos atrelados à reduzida cobertura vegetal, sugere alteração nas temperaturas em escala local. As disponibilidades de informações concernentes dos aspectos climáticos de um dado lugar são de suma importância, uma vez que o clima é um fator determinante para o ser humano, e sendo por este modificado, deveria ser levado em consideração no que diz respeito ao planejamento urbano.

Apoiada em referenciais teórico-metodológicos e em trabalhos de campo, esta pesquisa tem por objetivo analisar a distribuição espacial das temperaturas na cidade do

Recife utilizando imagens TM - Landsat 7, visando contribuir sob forma de informações que poderão ser úteis ao planejamento urbano, com fins do conforto térmico e, por consequência a melhoria na qualidade de vida na cidade.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O objeto do estudo é a cidade do Recife localizada no litoral do Nordeste brasileiro, mais precisamente no centro leste da região (Figura 1). A cidade está situada na latitude 8°03'14"Sul e na longitude 34°52'51"Oeste de Greenwich, estando boa parte da mancha urbana situada sobre uma planície flúvio-marinha, sua altitude média varia entre 4 e 10 metros acima do nível do mar, compreendendo uma área de 218 km². O clima regional sob o qual a cidade se encontra é o tropical atlântico de costa oriental, segundo (KÖEPPEN, 2004).

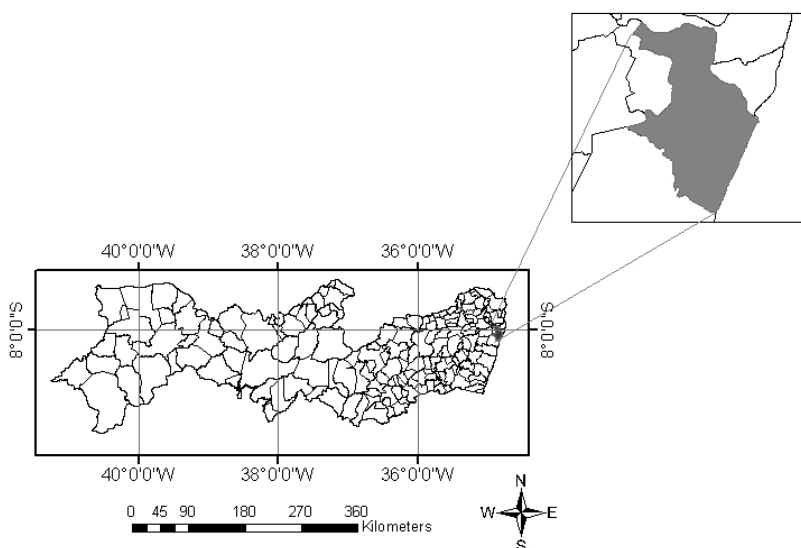


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, destacando o município do Recife.

A região estudada, por estar situada em Zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25°C (Figura 2), amplitude térmica anual nunca superior a 5°C, e umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84%. Devido à sua baixa latitude a radiação solar é alta, onde a incidência dos raios solares é mais intensa e quase que constante o ano inteiro, e, também devido à baixa altitude, o que aumenta a concentração de partículas sólidas na atmosfera absorvedoras de calor. A nebulosidade, típica dos trópicos úmidos, contribui para a radiação difusa, ou seja, aquela refletida pelas

nuvens (KÖPPEN, 1948). O índice pluviométrico anual médio encontra-se acima de 1.600 mm (Figura 3). O tipo climático segundo Köeppen (2004) é o As' (clima quente com chuvas de outono-inverno), sem inverno térmico em que as temperaturas médias mensais são superiores a 18°C.

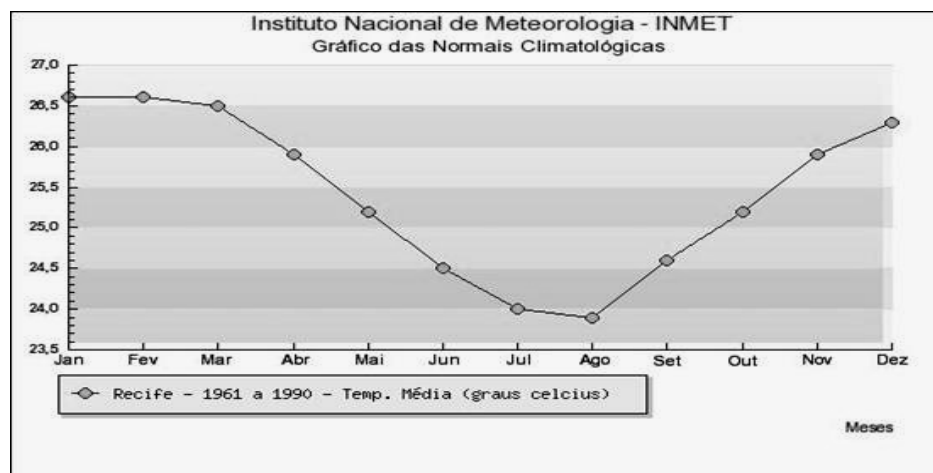


Figura 2. Temperaturas médias mensal no Recife, período 1961-1990. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, 2006).

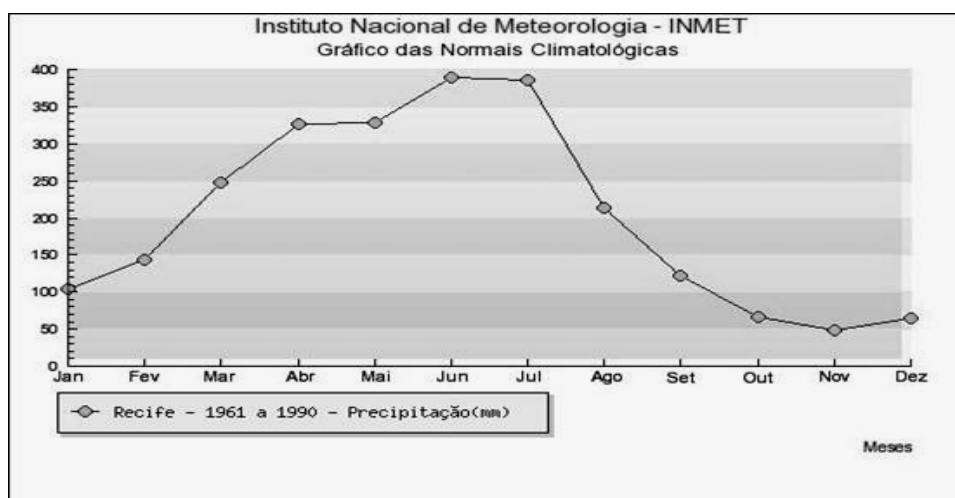


Figura 3. Precipitações mensais média no Recife, período 1961 – 1990. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento dessa pesquisa foi apoiado no referencial teórico - metodológico e também em trabalhos empíricos. Foi utilizada uma imagem do satélite TM – Landsat 7 referente ao 19/05/2002, gentilmente cedida pela Embrapa e adquirida junto ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, onde foi selecionada a cidade do Recife. As

imagens constam de sete bandas espectrais. Utilizou-se a banda 6 termal, que compreende a faixa entre 10,4 e 12,5 μm , esta banda apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação, água, concreto, zinco, dentre outros. A passagem do satélite TM – Landsat 7 sobre o município do Recife, a qual foi gerada a imagem utilizada neste trabalho, ocorreu no dia 19 de maio de 2002 (Dia Juliano, DJ = 73), órbita 214 e ponto 66 outono do hemisfério sul (Figura 4).

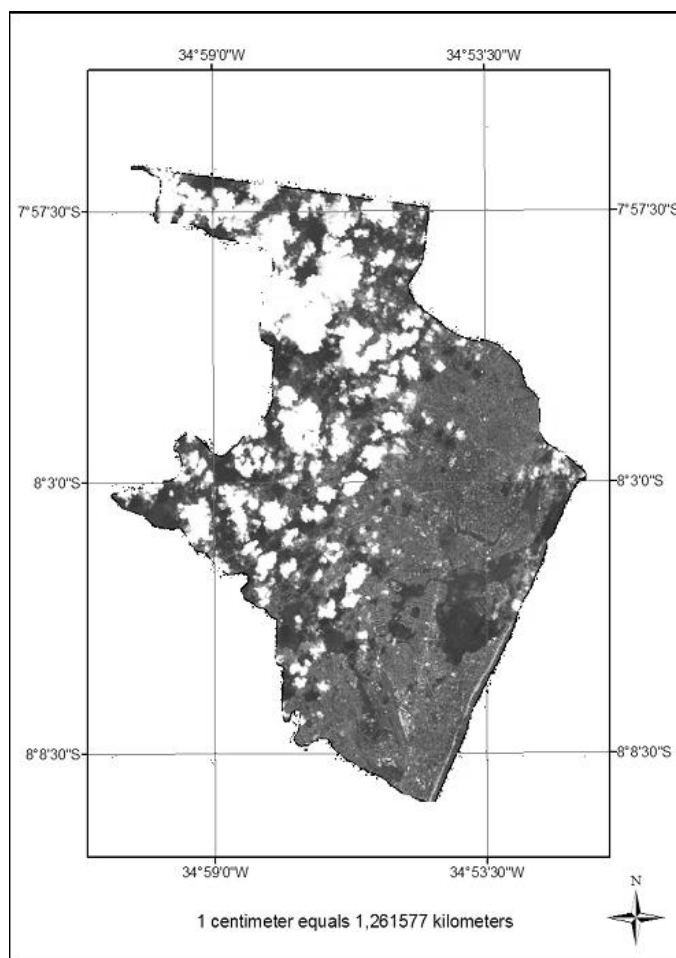


Figura 4. Composição colorida R4G3B2 da imagem TM - Landsat 7 TM.

Em virtude de área de estudo ser localizada próximo ao litoral, é quase impossível contar com uma cobertura completamente livre de nuvens. Diante do exposto, foi feito um recorte na cena estudada, usando como critério a retirada da nebulosidade apresentada na imagem (Figura 5).

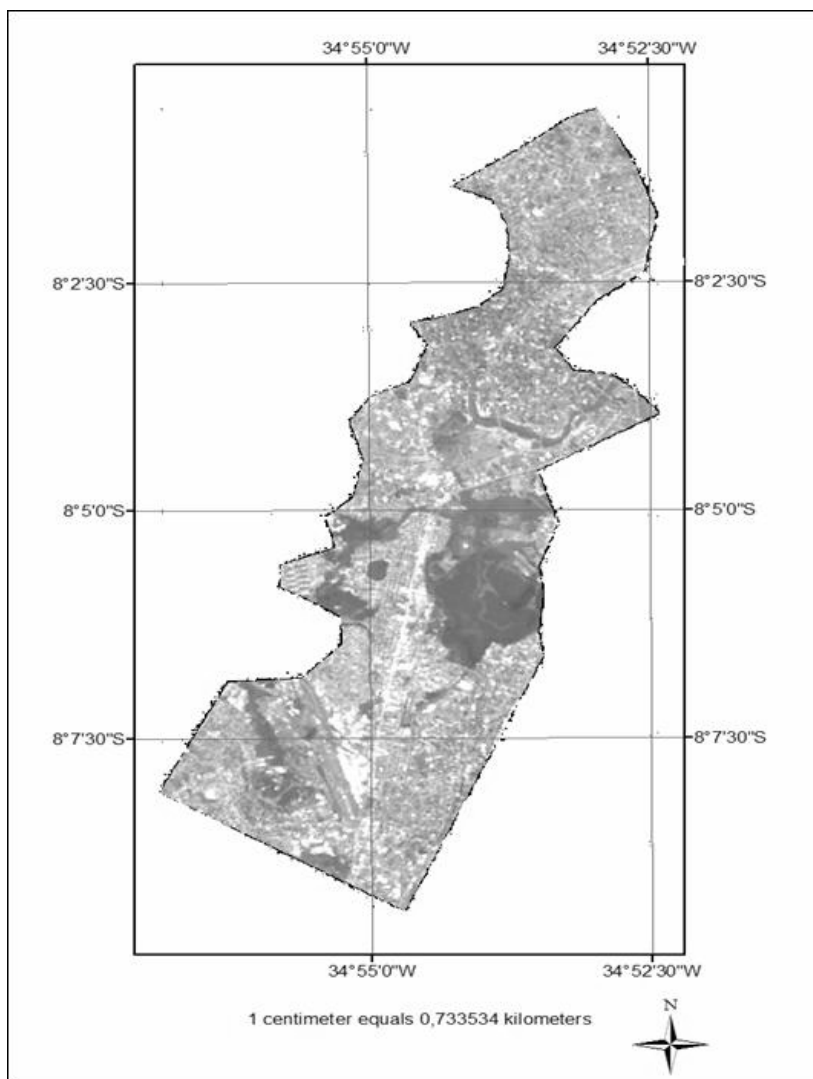


Figura 5. Recorte da cena sem nebulosidade.

No processamento das imagens se desenvolveram modelos através programa Erdas Imagine e da ferramenta Model Maker, tendo como resultado as imagens necessárias para a obtenção da temperatura da superfície terrestre. O processamento das imagens foi efetuado na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica-UFCG.

Para Vidal e Perrier (1992) as temperaturas do ar e da superfície terrestre tendem a atingir seus ápices aproximadamente entre 13h00min e 14h00min local, entretanto este parâmetro tem uma variação que está vinculada a sazonalidade de cada região, principalmente pela incidência de luz solar em alguns períodos do ano em algumas regiões do planeta.

Trabalhos realizados com imagens Landsat por Lagourdi e Olivoso (1995), demonstraram que a temperatura da superfície captada por um sensor aproximadamente

entre 10h00min e às 11h00min local, e entre 13 e 14h00min podem ser consideradas para o restante do dia, principalmente em dia céu claro.

Para determinação da temperatura da superfície da cidade do Recife, seguiram-se as seguintes etapas:

3.1. Calibração radiométrica

A radiância representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, denominada banda termal, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. O conjunto da radiância monocromática de todas as sete bandas do TM - Landsat 7 foi obtida por:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (Tabela 1), ND é a intensidade do pixel que varia de 0-255, e o índice corresponde às bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 1. Parâmetros do sensor, irradiância (E) e espalhamento.

Banda	Espalhamento + offset	L _{min}	L _{max}	E (watts.m ⁻² *μm)
1	44	-6,2	191,6	1969
2	34	-6,4	196,5	1840
3	32	-5	152,9	1551
4	15	-5,1	241,1	1044
5	27	-1	31,06	225,7
7	39	-0,35	10,8	82,07

3.2. Reflectância espectral

A etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com a equação (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{E_0}$$

$$\rho_{\lambda i} = k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r$$

Em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$);

$K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

Z é o ângulo zenital solar;

D^2 é a distancia terra sol ao quadrado.

3.3. Albedo no topo da atmosfera

Representa o cômputo do albedo planetário (à toa), isto é, o albedo não ajustada a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat:

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7$$

$$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5 \text{ e } \rho_7$$

Onde, são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4,5 e 7.

3.4. Albedo da superfície

Na etapa 4 obtém-se o albedo corrigido ou albedo de superfície para os efeitos atmosféricos a, através da equação:

$$\alpha_{co} = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}$$

Em que α_{toa} é o albedo planetário;

α_p , é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03;

τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que passa as condições de céu claro e obtido pela equação (Allen *et al.*, 2002):

$$\tau_{sw}^2 = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z$$

Em que, z é representado pela média da altitude da cidade do Recife.

3.5. Índices de vegetação: SAVI e IAF

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, é utilizado a expressão (HUETE, 1998):

$$\text{SAVI} = \frac{(1 + L) (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)}$$

Onde, L é uma constante de valor igual a 0,5.

Para o cálculo do índice de área Foliar – IAF é necessário o modelo do SAVI corrigido (SAVI_SZ), onde se eliminam os valores negativos.

$$IAF = \frac{\ln \left[\frac{0,69 - SAVI_SZ}{0,59} \right]}{0,91}$$

O Índice de área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen *et al.* (2002):

Para o cálculo da emissividade é necessário utilizar o modelo do IAF corrigido, onde se eliminam valores negativos ou iguais à zero.

3.6. Emissividade

Para a obtenção da temperatura na superfície, será utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética com um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal imageada pelo canal termal (ε_{NB}). Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida pôr cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ε_0 (5-100 μ m). Segundo Allen *et al.* (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para NDVI>0 e IAF <3, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF$$

$$\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 =$$

Para pixels com IAF $\geq 0,98$

3.7. Temperatura da superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (Ts) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1 \right)}$$

Onde $K_2 = 1260,56K$ e $k_1 = 607,76Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ são constantes de calibração da banda termal do TM – Landsat- 7 (ALLEN *et al.*, 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a variação espacial da distribuição da Ts na área urbana do Recife. Analisando-a, constata-se que nas áreas com tonalidade cinza muito claro encontram-se as menores temperaturas, as quais variam entre 23°C e 24°C; as áreas com tonalidade cinza claro representam os valores intermediários da temperatura variando entre 24°C até 25°C, aproximadamente. A tonalidade cinza escuro da imagem representa os valores que variam de 25°C até 27°C, e pequenos pontos ou manchas de cor preta; apresenta temperaturas superiores a 28°C ou 30°C, as quais correspondem ao estacionamento do Shopping Recife como pode ser observado na **Área “A”** e o Aeroporto dos Guararapes **Área “B”**. Na análise da distribuição das temperaturas estimadas através da imagem verifica-se que, na porção sul, onde está localizado o bairro de Boa Viagem, **Área “C”**, existe um maior predomínio das manchas de tonalidade cinza claro, provavelmente por estas áreas ficarem localizadas à sotavento da barreira orográfica formada pelas edificações horizontais na orla da praia de Boa Viagem. Essa barreira impede a penetração dos ventos vindos do oceano, que atreladas à reduzida cobertura vegetal e alta densidade de ocupação contribui para uma maior concentração de calor. Além disso, a extensa área de concreto do Aeroporto possui propriedades de absorção térmica, alterando, desta forma, o balanço de radiação das áreas circunvizinhas.

As áreas que apresentaram as menores temperaturas estão associadas às áreas onde a cobertura vegetal é mais presente, destacando-se o manguezal do Pina **Área “D”** e também os corpos hídricos e pequenas áreas que margeiam a avenida Boa Viagem **Área “E”** que podem se consideradas como ilhas de amenidade, isto se deve pôr estarem expostas aos ventos úmidos do oceano impedindo o aquecimento da superfície.

Portanto, se observa nas Figuras 4 e 5, que as áreas onde a cobertura vegetal é mais escassa e apresentam um elevado adensamento construtivo associado ao predomínio da verticalização destacou-se com os maiores índices de temperaturas. Nos bairros em que dominam as classes privilegiadas ou concentradores de renda, destacando-se Rosarinho, Espinheiro, Graças e Aflitos **Área “F”** onde a intensa valorização imobiliária é atestada pela verticalização de edifícios residências e empresariais, que além de funcionarem como barreiras impedindo a passagem dos ventos, funcionam como armazenadores de calor contribuindo desta forma para o aumento da temperatura nessas áreas.

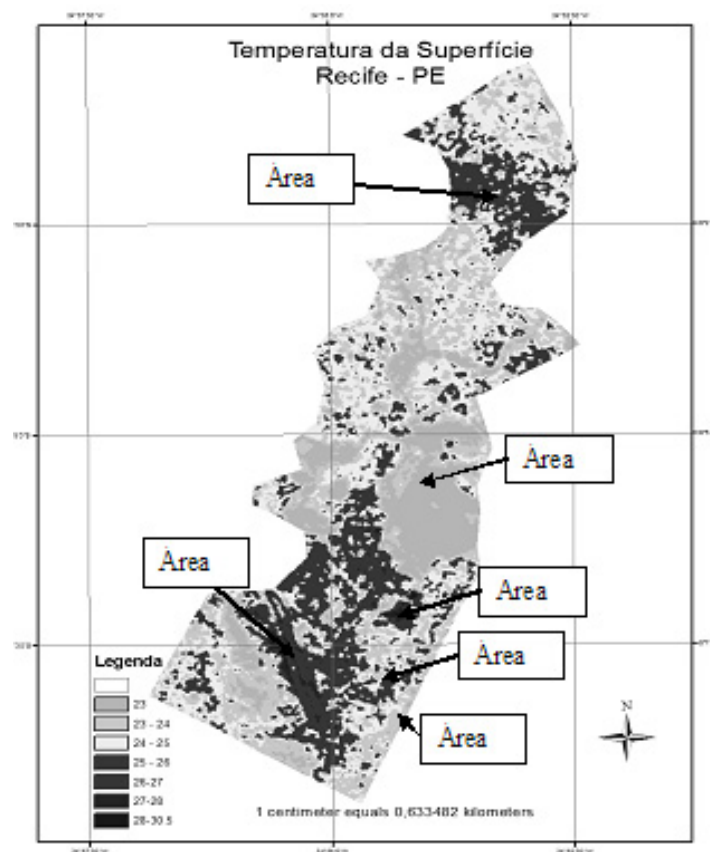


Figura 3. Variação espacial das temperaturas do Recife.



Figura 4. Representação espacial das áreas analisadas.

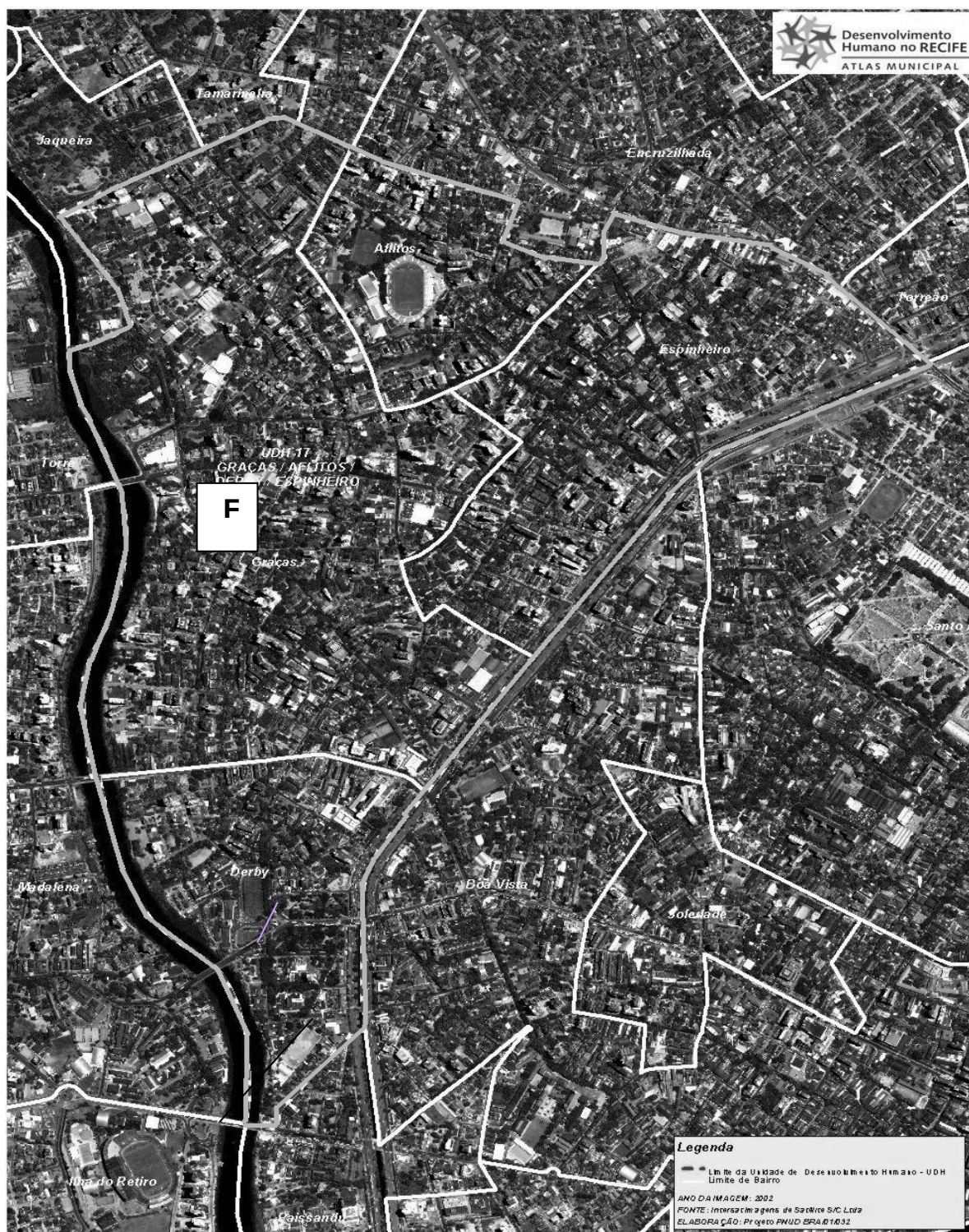


Figura 5. Localização dos bairros das Graças, Espinheiro e Aflitos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÃO

De acordo com os resultados apresentados, observou-se uma ilha de calor urbana na cidade do Recife com amplitude térmica em torno de 5°C.

As áreas onde se destacaram com maiores adensamentos (construções verticais, horizontais, concentração de veículos) associados à baixa presença arbórea, contribuem de forma direta para o aumento da temperatura local.

O elevado adensamento construtivo no perímetro urbano do Recife reflete alteração nas temperaturas destacando-se as áreas do bairro de Boa Viagem e proximidades do Aeroporto com os maiores valores.

É fundamental uma legislação eficiente que seja baseada nas variações de temperatura, para o melhor planejamento urbano. Com o constante e incontrolado aumento da área construída, a variação térmica aumenta e a necessidade de implantação de áreas verdes de dissipação se torna mais premente, tendo em vista que estas contribuem de forma direta no balanço de radiação, propiciando temperaturas amenas e contribuindo desta forma para a qualidade de vida dos habitantes.

6. REFERÊNCIAS

Atlas do Desenvolvimento Humano do Recife. Prefeitura do Recife. 2002.

ALLEN, R.G.; SMITH, A.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bull.** v. 43, n. 2, p. 1-34.

BASTIAANSSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG. A.A.M.; 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **J. Hydrol.** v. 212-213, p. 213-219.

BECKER, F.Z.-L.L.I. 1990. Toward a Local Split-Window Method Over Land Surfaces. **International Journal of Remote Sensing.** v. 11, n. 3, p. 369-393.

HUETE, A.R. 1998. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment.** v. 25, p. 295-309.

LOMBARDO, M.A. 1985. **Ilha de Calor nas Metrôpoles.** Ed. Hucite, São Paulo.

KERR, H.Y.; LAGOURADE, J.P.; IMBERNOM, J. 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. **Remote Sensing of Environment.** v. 40, p. 1-20.

KÔEPPEN, W. 2004. Sistema Geográfico dos Climas. **Notas e Comunicações de Geografia**. n. 12, p. 4-29. Tradução Antonio Carlos de Barros Correa.

PRATA, A.J. 1994. Land surface determination from satellites. **Advances in Spaces Research**. v. 14, n. 3, p. 315-326.

SOBRINO, J.A.; LI, Z.L.; STOLL, M.P.; BECKER, F. 1994. Improvements in the split-window technique for land surface temperature determination. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**. v. 32, n. 2, p. 243-253.

ULIVIERI, C.; CASTRONUOVO, M.M.; FRANCIONI, R.; CARDILO, A. 1994. A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satélites. **Advances in spaces Research**, v. 14, n. 3, p. 59-65.

VIDAL, A.; PERRIER, A. 1989. Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 10, p. 1327-1337.