

Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat 5-TM

John Elton de Brito Leite Cunha
Iana Alexandra Alves Rufino
Sandra Maria Araújo Ideião

Universidade Federal de Campina Grande
Rua Aprígio Veloso, 882. Bodocongó. Bloco BU. Campina Grande - PB
john@hidro.ufcg.edu.br; iana_alex@uol.com.br; sandraideiao@yahoo.com.br

Abstract - The remote sensing is an important tool to manage and monitoring natural resources. The unordered growth of the cities causes several problems themselves and some times, the remote sensing techniques have been used to identify the “Urban Heat Island” phenomenon. These techniques can provide input data for atmospheric exchanges models and land urban models. In this context, this work aims to get the surface temperature in the area of Campina Grande-PB, based on images from the Thematic Mapper sensor of Landsat 5 satellite. The surface temperature data can be obtained applying a mathematical conversion model of digital numbers (DN) in temperature (METRIC). It is presented a brief discussion about results and the importance of the Thermal data from remote sensing in applications and observation of urban climate changes.

Palavras-chave: remote sensing, surface temperature, sensoriamento remoto, temperatura de superfície.

1. Introdução

O conhecimento da superfície urbana tem sido importante para estudos relacionados à climatologia urbana, mudanças ambientais globais, e interações homem-ambiente e também é importante para o planejamento e práticas de gestão Weng & Quattrochi (2006). Porém a escassez de informações, observada principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, tem impulsionado o uso e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto Ideião et al. (2008).

O sensoriamento remoto, por exemplo, pode ser utilizado em áreas urbanas para avaliar o fenômeno de “Ilha de Calor Urbano”, para realizar classificação de uso de solo e também para fornecer dados de entrada para modelos de trocas atmosféricas e de superfície urbana Voogt e Oke (2003).

Para estudar a temperatura intra-urbana, suas variações e relações com características da superfície (uso e ocupação) têm sido amplamente empregadas imagens com resoluções espaciais médias tais como as imagens termais obtidas a partir dos sensores TM / ETM + do Landsat, ou do sensor infravermelho termal (TIR) do ASTER. Carnahan e Larson (1990) utilizaram o Landsat TM (canal termal - 120 m de resolução espacial) para observar em meso-escala a temperatura e as diferenças entre as zonas urbanas e rurais em Indianápolis (EUA). Nichol (1994) faz uso de dados do canal termal para estudar micro climas habitacionais, em Singapura; Weng & Quattrochi (2006) faz uma análise da superfície terrestre seus padrões de temperatura e relação com a cobertura vegetal em Guangzhou (China) e nos aglomerados urbanos na Zhujiang (Rio das Pérolas) Delta da China. Recentemente, Weng *et al* (2004) utilizou uma imagem Landsat ETM + (60 m de resolução espacial) para examinar a temperatura da superfície terrestre-vegetação em Indianápolis (EUA).

Atualmente as cidades concentram a maioria da população e este é um fenômeno mundial. Em 1960, os países mais industrializados já contavam com altos percentuais da população total morando em cidades. No Brasil, a população urbana passou de 45% do total, em 1960, para aproximadamente 75%, em 1991, e atualmente, conta com mais de 80% do total da população brasileira, morando em cidades Zanella e Mendonça (2000).

Neste contexto, é fato que a camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana aliada ao grande número de veículos,

indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças profundas na atmosfera local.

Diante desta realidade, este trabalho propõe uma análise da relação existente entre o acréscimo de temperatura de superfície e o crescimento da cidade de Campina Grande-PB, tomando como base os produtos e técnicas do sensoriamento disponíveis e investigando as possíveis alterações no clima da região.

2. Área de estudo

A cidade de Campina Grande é considerada uma das maiores e mais importantes do interior do Nordeste. Localiza-se a 7°13'11" de latitude sul e a 35°52'31" de longitude oeste (Figura 1). O município conta com uma área de cerca de 620 km² (com área urbana de aproximadamente 96 km²). Possui um relevo forte e ondulado com curvas de nível variando entre 325m e 670m acima do nível médio do mar e situa-se na região oriental do Planalto da Borborema, distante 130 km da capital do Estado, João Pessoa.

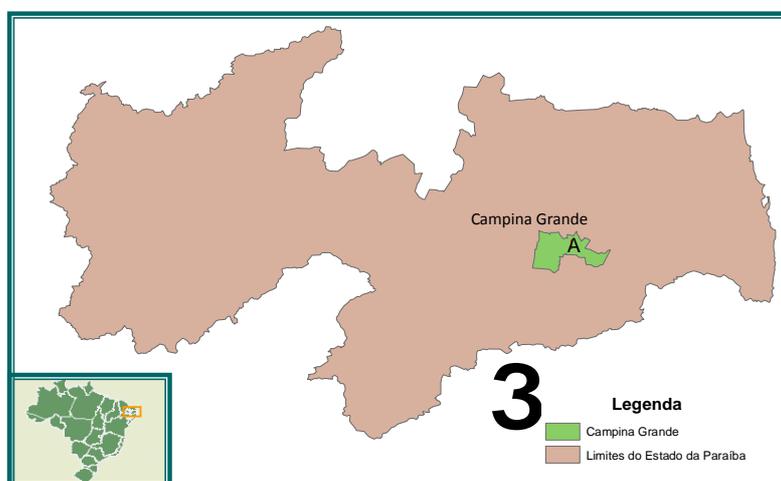


Figura 1- Localização geográfica de Campina Grande-PB

Tabela 1. Demografia da População de Campina Grande/PB (IBGE, 2008)

	1970	1980	1990	2000
População total	195.303	247.820	326.307	355.331
Urbana	167.335	228.171	307.468	337.484
Rural	27.968	19.649	18.839	17.847

O município de Campina Grande/PB, de acordo com a última estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, realizada em 01 de julho de 2005, tem uma população de 376.132 habitantes, sendo o segundo município em população do Estado, exercendo grande influência política e econômica sobre as cidades circunvizinhas Pereira e Melo (2008).

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo de clima encontrado em Campina Grande, PB é As' (quente e úmido com chuva de outono-inverno). Caracteriza-se por apresentar chuvas de outono - inverno e um período de estiagem de cinco a seis meses. O período seco começa em setembro e prolonga-se até fevereiro, sendo mais acentuado no trimestre da primavera, salientando-se o mês de novembro como o mais seco. Já a estação chuvosa começa em março/abril e encerra em agosto. As temperaturas do ar variam entre a máxima anual de 28,6 °C e a mínima 19,5 °C e a umidade relativa é bastante uniforme em toda a região, com médias em torno de 80% LMRS/PB (2007). A insolação anual alcança uma

média de 222,4 horas. Os dados de evaporação revelam um total anual em torno de 1417,4 mm, condição própria das zonas semi-áridas de latitudes tropicais e uma precipitação média anual de 802,7 mm (Figura 2).

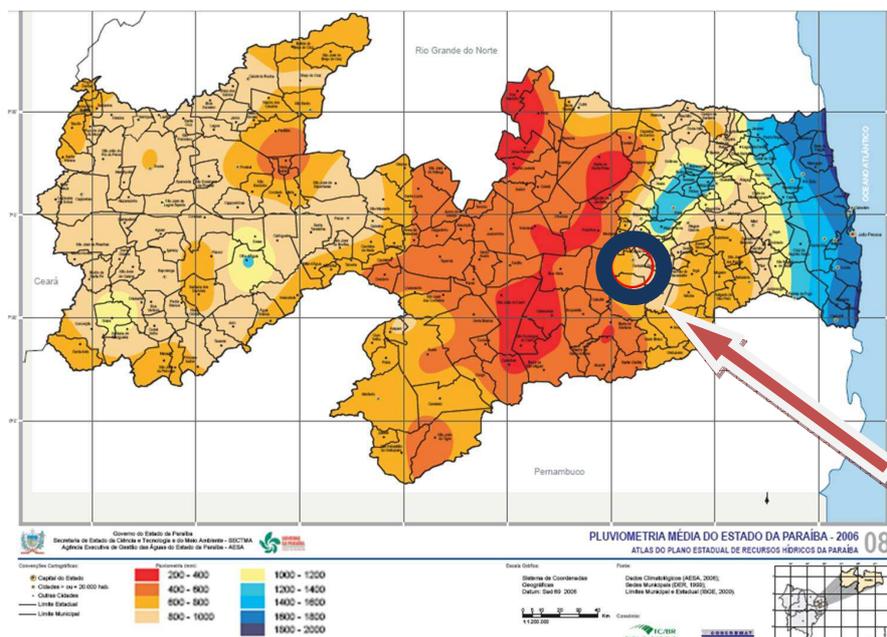


Figura 2 – Pluviometria média anual do Estado da Paraíba (Fonte: AESA, 2008).

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Imagens de satélites utilizadas

Foram utilizadas três imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, de diferentes datas, conforme apresentado na Tabela 2. Estas imagens foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE (2008) através do catálogo on-line disponível na página eletrônica desta instituição.

Tabela 2- Data das imagens

Órbita/Ponto	Data
214/65	10/06/1984
	08/07/1989
	28/08/2007

2.2. Obtenções da temperatura de superfície

Para obter a temperatura da superfície terrestre através de imagens orbitais da região termal, é necessário utilizar técnicas de correção dos efeitos atmosféricos sobre as medidas de temperatura. No caso de dado termal do sensor TM, a correção atmosférica depende da realização de lançamentos de radiossondagem simultaneamente às passagens do satélite Landsat, o que nem sempre é realizado Folhes (2007). Uma alternativa a esta ausência de informação é utilizar modelos que demandem uma mínima quantidade de parâmetros de campo.

Neste trabalho é utilizado o algoritmo *Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration (METRIC)*, desenvolvido por Allen *et al.*(2005) . Para a obtenção da temperatura de superfície foi empregado o algoritmo utilizando-se como

ferramenta a função *Model Maker* do ERDAS 9.1[®], a Figura 3 descreve as etapas metodológicas para obtenção da carta de temperatura de superfície.



Figura 3 – Fluxograma das etapas do processo de obtenção da temperatura de superfície.

2.3 Radiância

Constitui o cômputo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), ou seja, efetivação da calibração radiométrica, em que o número digital (DN) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$).

A radiância é a intensidade do fluxo radiante por unidade de ângulo sólido e seu conceito pode ser comparado ao conceito de brilho, ou seja, um objeto é considerado mais brilhante quanto maior for sua “radiância medida”. Essas radiâncias representam 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 5 pode ser obtida por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\lambda_{\min,i}} + \frac{L_{\lambda_{\max,i}} - L_{\lambda_{\min,i}}}{255} DN \quad (1)$$

Onde L_{λ_i} (min) e L_{λ_i} (max) são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (Tabela 3), DN é a intensidade do pixel que neste caso, varia de 0-255, e o índice corresponde às bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do sensor TM.

2.4 Refletividade

Após o cálculo da radiância, os valores obtidos são convertidos à refletividade aparente através da seguinte equação:

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi \cdot L_{t,b} d^2}{ESUN_b \cdot \cos \theta_{rel}} \quad (2)$$

Onde: $\rho_{t,b}$ é a refletividade espectral aparente na banda i; d^2 quadrado da distância Terra-Sol em unidade astronômica; θ o ângulo solar zenital; $ESUN_b$ o valor médio da irradiância solar no topo da atmosfera total na banda i em $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de irradiâncias solar no topo da atmosfera nos intervalos correspondentes às bandas do sensor TM/Landsat 5. De acordo com Duffie e Beckman (1991), a estimativa de d^2 para a data de obtenção da imagem pode ser dada por:

$$d^2 = \frac{1}{1 + 0,033 \cos\left(\frac{DOY \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right)} \quad (3)$$

Onde: *DOY* (*Day of Year*) representa o dia do ano contado consecutivamente a partir de 1 de janeiro até a data da imagem e $\left(\frac{DOY \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right)$ é expresso em radianos.

[®] O software ERDAS 9.1 é marca registrada da LEYCA Systems.

Tabela 3 - coeficientes de calibração (radiância mínima L_{λ_i} (min) e máxima L_{λ_i} (max)) e irradiancias espectrais (E_i) no topo da atmosfera.

Bandas (i)	De 1 de março de 1984 a 4 de maio de 2003		Após 4 de maio de 2003		(E_i) [$W.m^{-2}.mm^{-1}$]
	L_{λ_i} (min)	L_{λ_i} (max)	L_{λ_i} (min)	L_{λ_i} (max)	
1	-1,52	152,0	-1,52	193,0	1957
2	-2,84	296,81	-2,84	365,0	1826
3	-1,17	204,30	-1,17	264,0	1554
4	-1,51	206,20	-1,51	221,0	1036
5	-0,37	27,19	-0,37	30,2	215
6	1,2378	15,303	1, 2378	15,303	-----
7	-0,15	14,38	-0,15	16,5	80,67

2.5 NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Da operação algébrica das refletividades dos canais do vermelho e do infravermelho próximo obtém-se o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). Este índice é usado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, o que permite caracterizar sua distribuição espacial, bem como a evolução do seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas dominantes, bem como pelos ciclos fenológicos anuais Folhes (2007). O NDVI define-se como:

$$NDVI = \frac{\rho_{t,4} - \rho_{t,3}}{\rho_{t,4} + \rho_{t,3}} \quad (4)$$

Onde: $\rho_{t,4}$ é a refletividade da banda 4 e $\rho_{t,3}$ é refletividade da banda 3.

2.6 SAVI - Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo

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 utilizada a expressão:

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot \rho_{t,4} - \rho_{t,3v}}{(L + \rho_{t,4} + \rho_{t,3})} \quad (5)$$

Onde: L é igual 0,1. Isso indica que L = 0,1 tende a reduzir o impacto do solo úmido sobre o índice de vegetação.

2.7 IAF - Índice de área Foliar

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

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

No METRIC o IAF é limitado em 6,0 quando SAVI=0,69 e IAF=0 quando SAVI<0,1. Allen *et al* (2007).

2.8 Emissividade

Para a obtenção da temperatura na superfície, é utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como 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 por 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:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (8)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF \quad (9)$$

Para pixels com IAF ≥ 3 , $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$.

2.9 Temperatura de Superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) 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 (K) pela expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad (10)$$

Segundo Chander e Markhan (2003) $k_1 = 607,76$ ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) e $K_2 = 1260,56K$ são constantes de calibração da banda termal do Landsat TM-5.

3. Resultados e Discussão

A cidade de Campina Grande, assim como diversas cidades do Brasil, tem crescido de forma rápida e desordenada nas últimas décadas, sem o devido planejamento (tabela 1). A cidade carece de áreas verdes e já apresenta alguns problemas comuns às cidades de grande porte mesmo sendo considerada uma cidade de médio porte (aproximadamente 400.000 hab). Dentre estes problemas, variações climáticas e mudanças no regime pluviométrico podem ser facilmente observadas pela população que enfrenta em alguns dias do ano uma quantidade de chuva altamente concentrada causando desconfortos pela dificuldade de escoamento de grandes volumes de água em um curto espaço de tempo. Na Figura 4 o crescimento da malha urbana pode ser observado a partir das imagens de diferentes épocas.

As imagens do NDVI (Figura 5) mostram uma diminuição das áreas verdes ao longo do processo de ocupação. Embora a cidade apresente clima bastante agradável, a arborização urbana é escassa por ter sido implantada deliberadamente sem nenhum planejamento voltado para o futuro, para o desenvolvimento e o crescimento da cidade Carneiro *et al* (2008). Percebe-se através da Figura 5, uma mudança ao longo dos anos, provocada pela atividade humana, que pode estar implicando em um aumento na temperatura de superfície (Figura 6).

Comparando-se a temperatura obtida para o início da década de 80 (1984) com o final da mesma década (1989) e as imagens mais recentes (2007), percebe-se um nítido aumento de temperatura na região urbana, sendo que para o ano de 2007 há uma diferença de temperatura de 8° C a 10 ° C em relação a 1984. Estudos mais aprofundados, aliados a validações de campo poderiam embasar uma discussão maior acerca das implicações diretas ou indiretas do crescimento urbano nas mudanças de temperatura observadas.

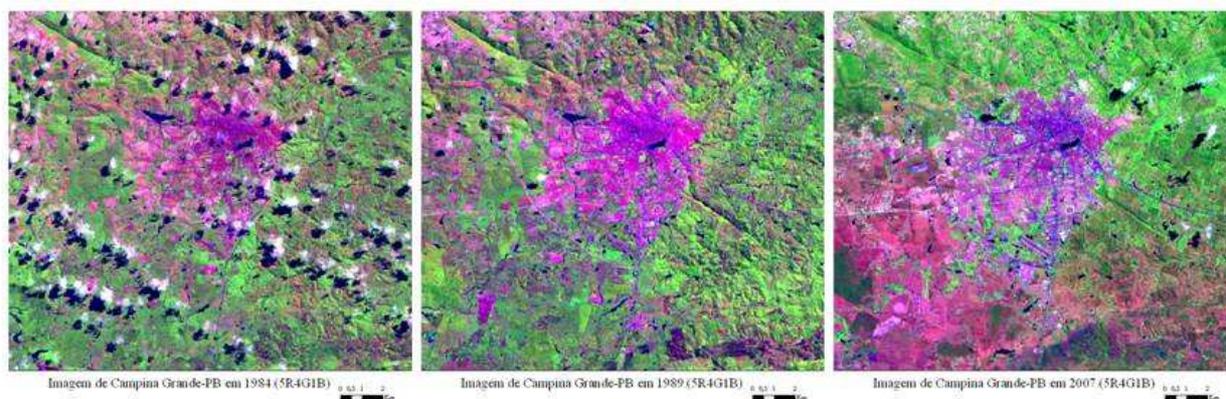


Figura 4 – Composições coloridas (5R4G1B) dos anos de 1984, 1989 e 2007.

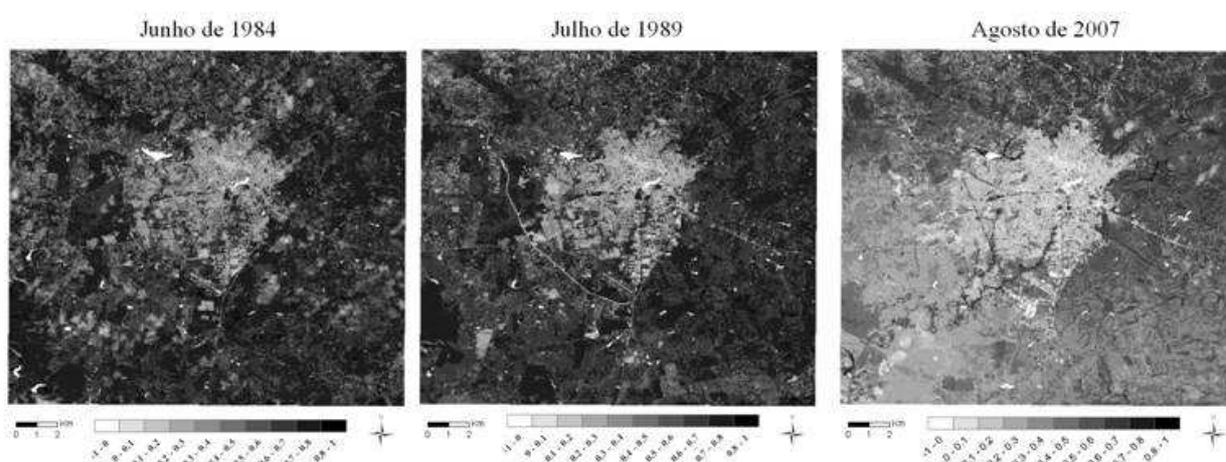


Figura 5 – NDVI dos anos de 1984, 1989 e 2007.

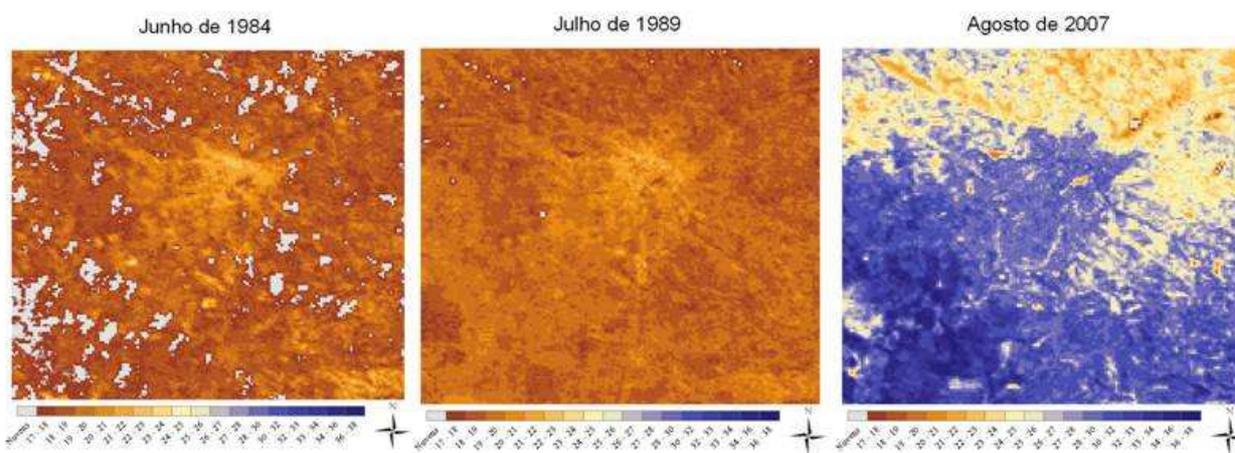


Figura 6 – Temperatura de superfície dos anos de 1984, 1989 e 2007.

4. Referências

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – GEO Portal. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal>>. Acesso em janeiro, 2008.
- Allen, R. G.; Allen, M.; Morse, A.; Trezza, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 19, p. 251-268, 2005.

Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R.. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**, version 1.0, 97p., 2002. (não publicado)

Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R..Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evatranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, p.380-394, 2007.

Araújo, Taciana Lima. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LANDSAT. (Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal Alagoas – UFAL, Maceió, 2006.

Carneiro, Isabel Mota. **Gerenciamento da demanda de água em áreas verdes públicas: o caso de Campina Grande – PB**. (Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2008.

Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, , p. 2674–2677, 2003.

Duffie, J. A., and Beckman, W. A. Solar engineering of thermal process, 2nd Ed., Wiley, N.Y, 1991

Folhes, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. (Tese Doutorado em do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos,2007

Ideião, S.M.A; Cunha,J.E.B.L; Rufino,I.A.A.;Silva,B.B. Determinação da temperatura de superfície no estado da Paraíba a partir de imagens landsat 5 –TM. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.2008, Recife. **Anais** CD-ROM.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>, acessado em março de 2008.

LMRS/PB. **Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba**. 2007.

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, p.135-146, 1996.

Pereira, S. S.; Melo, J.A.B. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional* • **G&DR** • v. 4, n. 4, p. 193-217, Taubaté, SP, Brasil, set-dez/2008

Voogt, J. A.; Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environmet**. v. 86, p. 370-384, 2003.

Walter H. Carnahan, Robert C. Larson. An analysis of an urban heat sink. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, Issue 1, p. 65-71, July 1990.

Weng, Q. & Quattrochi, D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. **Remote Sensing of Environment**, p.104, 119–122, 2006.

Weng, Q. Dengsheng, L. Schubring, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v.66, n.23,p.467–483, 2004.