

DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO ESTADO DA PARAÍBA A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 5 -TM

SANDRA MARIA ARAÚJO IDEIÃO
JOHN ELTON BRITO LEITE CUNHA
IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO
BERNARDO BARBOSA DA SILVA

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGECA
{sandra, john}@hidro.ufcg.edu.br; iana_alex@dec.ufcg.edu.br;bernardo@dca.ufcg.edu.br

RESUMO - O sensoriamento remoto constitui ferramenta indispensável para o conhecimento e o monitoramento dos recursos naturais. A crescente urbanização desordenada traz consigo vários problemas. O sensoriamento remoto tem sido também utilizado na identificação do fenômeno de “Ilha de Calor Urbano”, na classificação de uso de solo e também para fornecer dados de entrada para modelos de trocas atmosféricas e de superfície urbana. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo obter a temperatura da superfície do Estado da Paraíba, com base em imagens do Mapeador Temático do Landsat 5. Para a obtenção da temperatura de superfície aplicamos os modelos de conversão de números digitais (DN) em temperatura. Os resultados obtidos são considerados satisfatórios sob o aspecto da utilização de Geotecnologias. Entretanto, os estudos neste sentido devem ser mais aprofundados, com um maior número de informações reunidas para permitir a identificação e correlação dos diversos fenômenos que influenciam nas mudanças climáticas vivenciadas nos maiores centros urbanos do Estado da Paraíba.

ABSTRACT - The remote sensing is an indispensable tool to understand and monitoring natural resources. The increase disorderly urbanization brings several problems itself. The remote sensing has also been used to identify the “Urban Heat Island” phenomenon through the land use classification and it also provide input data for models of atmospheric exchanges and models of land urban. In this context, this work aims to get the surface temperature of the State of Paraíba, based on images from the Thematic Mapper sensor of Landsat 5. In the process of obtaining of surface temperature was applied conversion models of digital numbers (DN) in temperature. The obtained results are considered satisfactory by use of GIS applications. However, the research will be continued and could be refined, with more completed information to allow identify a correlation of various phenomena and their influence in climatic changes into the biggest urban cities of the State of Paraíba.

1 INTRODUÇÃO

Sensoriamento remoto é o termo usado para definir a tecnologia que permite o estudo de algumas características de um objeto, sem que, necessariamente, se estabeleça contato com o mesmo. A tecnologia usada nos satélites é um exemplo do sensoriamento remoto – os sensores colocados a bordo dessas plataformas orbitais são capazes de registrar o nível de radiação eletromagnética refletida e/ou emitida de um determinado local na superfície terrestre (Mendonça, 2007).

No Brasil, país de dimensões continentais, o sensoriamento remoto constitui ferramenta indispensável para o conhecimento e o monitoramento dos recursos naturais (Lima *et al*, 2001). Atualmente as cidades concentram a grande 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%, em 1960, para aproximadamente 75%, em 1991, e atualmente, conta com mais de 80% dela morando em cidades.(Zanella & Mendonça, 2000).

O sensoriamento remoto tem sido 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 & Oke, 2003). Essa tecnologia é utilizada nos centros urbanos, pois os mesmos são grandes modificadores do clima e a escassez de informações, principalmente observada em países em desenvolvimento como o Brasil, leva

pesquisadores a desenvolver e ajustar modelos onde os dados de entrada podem ser obtidos através do uso do sensoriamento remoto.

A cidade é um grande modificador do clima. A camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças profundas na atmosfera local. A percepção das diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais remonta à época dos romanos. Nas grandes cidades, faz mais calor e chove um pouco mais do que nas áreas rurais circunvizinhas. Também, são freqüentes as enchentes após algumas chuvas, resultantes da impermeabilização do solo. Não é somente o calor do Sol e sua retenção pelo CO₂ e vapor d'água que aquecem uma cidade. Existe também a produção de calor. A cidade é um grande centro consumidor de energia, e toda vez que a mesma é utilizada, parte é liberada para o ambiente. Pode-se dizer que o calor é uma forma de lixo energético, um subproduto do uso da matéria e alimentos; porém, sob certo aspecto, o calor é pior, pois precisa ser dissipado no ambiente e não pode ser reciclado como muitos dos componentes do lixo urbano produzido (Araújo, 2006).

O fenômeno Ilha Urbana de Calor é consequência do processo de ocupação e desenvolvimento de grandes cidades. Quantidades de ar quente se fazem presentes em maior concentração no centro das cidades, cujas populações sofrem com esse desequilíbrio. E essa condição dificulta a evaporação, reduz o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados trazendo desequilíbrios ambientais (Weng *et al*, 2004).

As cidades apresentam temperaturas médias maiores do que as zonas rurais de mesma latitude. Dentro delas, as temperaturas aumentam das periferias em direção ao centro. O uso de grande quantidade de combustíveis fósseis em aquecedores, automóveis e indústrias transformam a cidade em uma potente fonte de calor (Lombardo, 1985). Sendo assim, a temperatura de superfície é de primordial importância para o estudo da climatologia urbana (Voogt & Oke, 2003).

O sensoriamento remoto termal, tem a vantagem de proporcionar em tempo-sincronizado uma densa rede de dados de temperatura para toda uma cidade e ou para uma área distinta da mesma (Nichol, 1996).

Conforme, Weng & Quattrochi (2006) estudos anteriores foram realizados com sensoriamento termal sobre temperaturas de superfície em áreas urbanas sendo conduzidos principalmente utilizando dados do NOAA AVHRR. A utilização da resolução média, tais como imagens termais obtidas a partir do Landsat TM / ETM +, ASTER, foram amplamente empregada para estudar a temperatura intra-urbana variações e relacioná-los com características da superfície. Como nos trabalhos elaborados por Carnahan & Larson (1990) que usaram o Landsat TM (banda espectral termal - 120 m de resolução espacial) para observar em meso-escala a temperatura e as diferenças entre as zonas urbanas e rurais em Indianápolis, enquanto Kim (1992) estudou fenômenos

semelhantes em Washington, DC. Nichol (1994) utilizou dados de TM termal para estudar o microclima habitacionais, em Singapura, Weng (2001, 2003) examinou a superfície terrestre seus padrões de temperatura relação com a cobertura vegetal em Guangzhou, na China e na aglomerados urbanos na Zhujiang (Rio das Pérolas) Delta, 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. Estudos também têm usado alta resolução espacial (10 m) ATLAS (Advanced Thermal and Land Applications Sensor) dados (canal 13: 9.60-10.2 μ) para avaliar a ilha de calor urbano efeito no período diurno e noturno o em diversas cidades, e encontrou-los eficazes para caracterizar com precisão o calor urbana e ilha padrões (Lo *et al*, 1997; Quattrochi *et al*, 2000; Quattrochi & Ridd, 1994).

Segundo Voogt & Oke (2003) apesar de todo avanço em técnicas de sensoriamento termal para investigação de climas urbanos, deve-se progredir em três vastas áreas, sendo estas: determinação adequada da radiação, melhor compreensão das relações entre as temperaturas de superfície, do ar e do balanço energético, e por fim obter melhor validação dos parâmetros dos sensores termais.

Este trabalho tem por finalidade estimar e analisar através das imagens do Thematic Mapper abordo do satélite ambiental Landsat 5, a temperatura de superfície para o Estado da Paraíba. Aplicamos os modelos de Maralet, 1985 e o algoritmo baseado no METRIC (Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration) e no SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) para obter a temperatura de superfície, e assim confeccionar mapas da temperatura, pretendendo assim, contribuir para futuros estudos relacionados ao clima nos centros urbanos do Estado da Paraíba.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Paraíba está localizada na faixa oriental do Nordeste (Figura 1) e seu território ocupa uma área de 56.439,838 km², distribuídos de forma retangular com regiões bem definidas do ponto de vista do relevo, clima e vegetação. Sua área representa 0,66% da superfície territorial brasileira e 3,63% da área da região Nordeste (CAGEPA, 2005b apud Marinho, 2006). Seu litoral se estende desde a foz do Rio Guajú na divisa com o Rio Grande do Norte até a foz do Rio Goiana, na divisa com o Estado de Pernambuco, perfazendo um total de 138km. Seu território está dividido em quatro mesorregiões geográficas (Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão) e 23 microrregiões geográficas, cada uma com suas peculiaridades envolvendo o processo social, como determinante e o natural como condicionante. De leste para oeste sua maior extensão

linear é de 443km e, na direção nortesul, de 253km. (CAGEPA, 2005b apud Marinho, 2006).

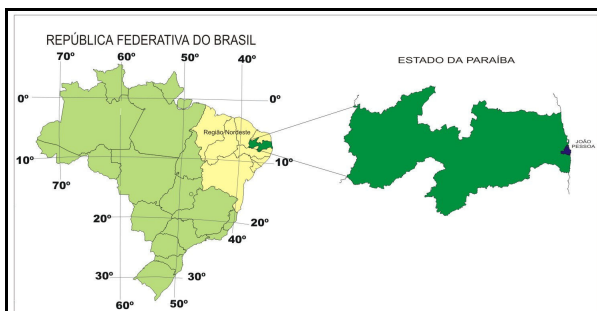


Figura 1 - Localização do Estado da Paraíba (Fonte: Marinho, 2006)

A Paraíba possui 223 cidades, sedes de municípios, 55 vilas, sedes de distritos e se estima um número de 700 comunidades rurais. Sua população estimada em 2004 é de 3.610.918 habitantes, sendo 2.654.401 habitantes (73,51%) na área urbana e 956.517 habitantes (26,49%) na área rural (Marinho, 2006). A Tabela 1 mostra a população, taxa de crescimento e proporção nas últimas quatro décadas no Estado da Paraíba.

Tabela 1 - Evolução da população no Estado da Paraíba (Fonte: Marinho, 2006)

Ano	População			Taxa de crescimento Geométrico (%)			Proporção (%)	
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Urbana	Rural
1970	2.384.615	1.002.926	1.381.689				42,06	57,94
1980	2.770.176	1.449.004	1.321.172	1,52	3,75	-0,45	52,31	47,69
1990	3.200.677	1.969.835	1.230.842	1,43	3,12	-0,71	61,54	38,46
2000	3.439.344	2.443.590	995.754	0,72	2,18	-2,10	71,05	28,95

Na Figura 2 está representada a área estudada, resultante de uma composição RGB das bandas 3, 2 e 1, do Landsat 5 – TM.

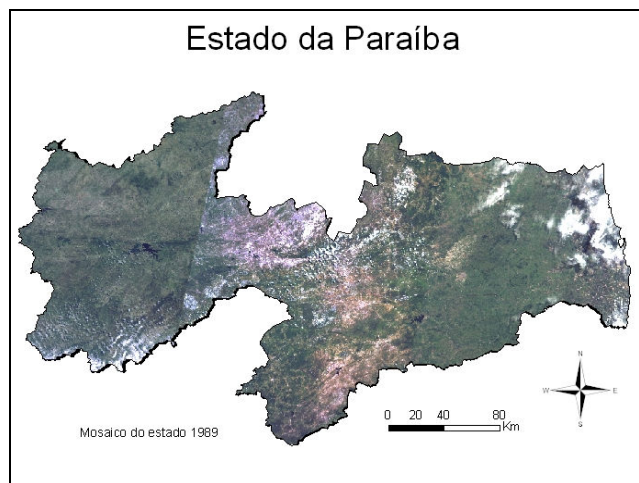


Figura 2 – Estado da Paraíba.

2.2 IMAGENS DE SATÉLITES UTILIZADAS

Foram utilizadas seis imagens geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5, compostas de sete bandas espectrais, cujas principais características estão descritas na Tabela 2, estas imagens foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Tabela 2 - Características das bandas espectrais do Satélite Landsat- 5. (Fonte: INPE, 2008)

Descrição dos Canais	Comprimento de onda (µm)	Resolução espacial (m)
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	30
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,61	30
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	30
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	30
Banda 5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	30
Banda 6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	120
Banda 7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	30

Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 5 – TM sobre a área de estudo às 9h30min nos períodos especificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificação dos períodos das Imagens utilizadas

Ponto	Orbita	Data	
		1989	2007
214	65	10/jul	29/ago
215	64	2/ago	19/jul
215	65	2/ago	19/jul
215	66	2/ago	19/jul
216	65	9/ago	29/set
216	66	9/ago	29/set

2.3 OBTENÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

A maioria das aplicações dos dados da banda de infravermelho termal é usada na análise qualitativa da perda de calor ou da evolução do balanço de calor urbano. Para quantificar a taxa de perda de calor ou a eficiência do uso de energia, é necessário elaborar um modelo específico, que considera a estrutura de edifícios, a

condutividade termal dos objetos e as condições meteorológicas locais durante a coleta de dados via satélite. Por causa da complexidade de coleta de todos esses dados paralelos, a implementação deste tipo de modelo é muito complexa e difícil Schott (1978) apud Liu (2007).

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 feito. Folhes(2007). Uma alternativa é utilizar modelos que demandem uma mínima quantidade de parâmetros de campo.

A banda termal assim como as demais bandas das imagens de satélite, é representada através de uma imagem composta por uma matriz de pixels em tons de cinza. Cada um dos pixels que compõem a imagem tem um número digital (ou DN – número digital de cada pixel) associado.

Para a transformação dessa resposta em temperatura de superfície precisamos utilizar modelos de conversão do DN em valores de temperatura.

Neste trabalho, utilizamos dois modelos distintos: o modelo desenvolvido por Malaret *et al*, (1985) e o modelo desenvolvido por Bastiaanssen (1995) & Allen *et al* (2005) e Tasumi *et al* (2005). As metodologias adotadas são descritas a seguir.

2.3.1. O modelo de conversão de Malaret

De acordo com Malaret *et al* (1985), a obtenção da temperatura da superfície é feita através da conversão do DN (número digital) de cada pixel da imagem da banda termal em temperatura aparente, como pode ser visto no diagrama representado na Figura 3.

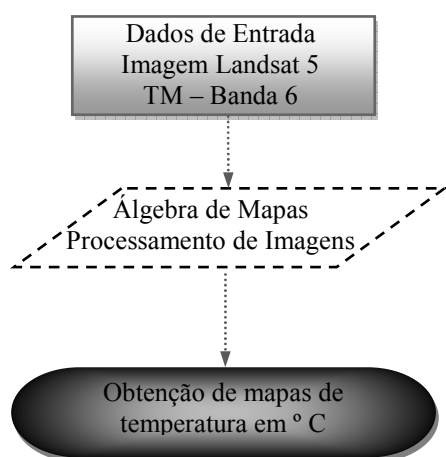


Figura 3 – Metodologia aplicada – Método Malaret.

O modelo matemático utilizado nesta metodologia é o modelo de *regressão quadrática*, mostrado na Equação 1:

$$T = 209,831 + 0,831(DN) - 0,00133(DN)^2 \quad (1)$$

Onde:

T = temperatura aparente em Kelvins

DN = número digital de cada pixel

As temperaturas resultantes podem ser então convertidas para °C (graus Celsius) com a subtração do valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, ou seja, 273,15 K. Assim, utilizando-se recursos de processamento digital de imagens e álgebra de mapas, ao mosaico das imagens da Banda termal do Estado da Paraíba pode ser aplicado o modelo de conversão anteriormente citado, para a obtenção de um mapa de temperatura de superfície.

5.3.2. O modelo de conversão METRIC e SEBAL

Dentre os mais recentes, os modelos Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) e Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration (METRIC) vêm sendo aplicados com sucesso mesmo em superfícies heterogêneas, na tentativa de descrever a variação espacial dos fluxos de superfície com base em funções semiempíricas. FOLHES, (2007)

O algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) foi desenvolvido em 1995 por Bastiaanssen BASTIAANSEN *et al*, 1998; BASTIAANSEN, 2000) e validado em vários ecossistemas mundiais, como Egito, Espanha, Portugal, França, Itália, Argentina, China, Índia, Paquistão, Nigéria, Zâmbia, Etiópia, Estados Unidos, Novo México, etc. TASUMI (2003) apud Marcos Meirelles (2005). O SEBAL é um algoritmo semi-empírico que promove a parametrização do balanço de energia e fluxos de superfície baseado em alguns dados locais e medições espectrais de satélites (Weligepolage, 2005) apud Meirelles (2005). É necessário que os canais visível, infravermelho próximo e infravermelho termal sejam tomados como dados de entrada para o processo.

O modelo METRIC, detalhado em Allen *et al*, (2005) e Tasumi *et al*, (2005), representa uma variação do modelo SEBAL. Os algoritmos utilizados no modelo METRIC são muito similares àqueles usados no SEBAL. A principal diferença entre os dois modelos está associada ao cômputo da densidade de fluxo de calor sensível. Folhes, (2007).

O diagrama da Figura 4 representa as etapas metodológicas para a obtenção da temperatura de superfície através do uso do algoritmo METRIC e SEBAL. Para a execução das etapas foram feitos vários modelos utilizando a ferramenta Model Maker do software Erdas 9.1®.

® O software ERDAS 9.1 é marca registrada da LEYCA Systems

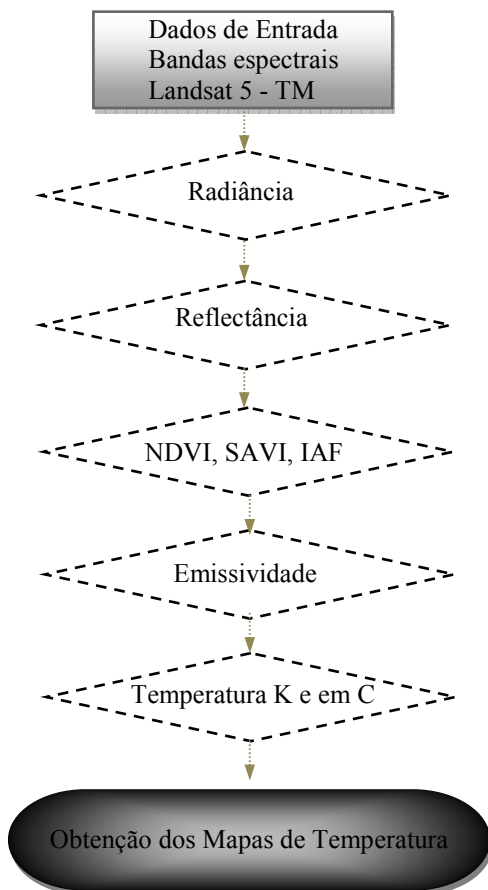


Figura 4 – Metodologia aplicada – METRIC e SEBAL

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 ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$).

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, é obtida por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\lambda_{min,i}} + \frac{L_{\lambda_{max,i}} - L_{\lambda_{min,i}}}{255} DN \quad (2)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas Tabela 4, DN 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 4 - Valores de $L_{min,i}$ e $L_{max,i}$ a serem aplicados às imagens TM. (Fonte:Chander e Markhan, 2003).

Bandas (i)	De 1 de março 1984 a 4 de maio de 2003		Após 4 de maio de 2003	
	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
2	-2,84	296,81	-2,84	365,0
3	-1,17	204,30	-1,17	264,0
4	-1,51	206,20	-1,51	221,0
5	-0,37	27,19	-0,37	30,2
6	1,2378	15,303	1,2378	15,303
7	-0,15	14,38	-0,15	16,5

Reflectância

Em seguida, os valores de radiância são convertidos à reflectância aparente através da seguinte equação:

$$r_{a,i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{E_i \cdot \cos \theta \cdot dr} \quad (3)$$

em que: $r_{a,i}$ é a reflectância espectral aparente na banda i; dr o inverso do quadrado da distância Terra-Sol em unidade astronômica; θ o ângulo solar zenital; E_i o valor médio da irradiância solar exoatmosférica total na banda i em $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$.

A Tabela 5 apresenta os valores médios de irradiância solar exoatmosférica nos intervalos correspondentes às bandas do sensor TM/Landsat 5.

De acordo com Duffie e Beckman (1980), a estimativa de d_r para a data de obtenção da imagem pode ser dada por:

$$d_r = 1 + 0,033 \left(\frac{DDA \cdot 2 \cdot \pi}{365} \right) \quad (4)$$

em que: DDA representa o dia do ano contado consecutivamente a partir de 1 de janeiro até a data da imagem.

Tabela 5 - Irradiância solar para cada banda do sensor TM (Fonte:Chander e Markhan, 2003).

Bandas i	Irradiância (E_i) [$W.m^{-2}.\mu m^{-1}$]
1	1957
2	1826
3	1554
4	1036
5	215
7	80,67

Índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF

Da operação algébrica das reflectâncias 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:

$$NDVI = \frac{r_{ivp} - r_v}{r_{ivp} + r_v} \quad (5)$$

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:

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot r_{ivp} - r_v}{(L + r_{ivp} + r_v)} \quad (6)$$

Onde, L é uma constante de valor igual a 0,5 (Allen *et al.*, 2007):

O Índice de área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizado 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):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (7)$$

No METRIC o IAF é limitado em 6.0 quando SAVI=0.69 e IAF=0 quando SAVI<0,1. (Allen *et al.*, 2007)

Emissividade e Temperatura de Superfície

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 \geq 3, $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$.

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 (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

Através do uso do SIG (sistema de informação geográfica), álgebra de mapas e técnicas de PDI, foram obtidos mapas termais para todo o Estado da Paraíba. A conversão do DN em temperatura de superfície é abordada por vários estudos nos dias atuais.

Foi elaborado um mosaico de imagens termais usando o algoritmo desenvolvido por Maralet (1985) para os anos de 1989 e 2007, os quais, são apresentados na Figura 5 e 6.

A análise temporal dos dados de temperatura aponta uma tendência ao aumento dos valores de temperatura de superfície, constatando-se isso na aplicação dos métodos. Um dos fatores que pode ter contribuído é o aumento da urbanização no Estado, impermeabilização do solo ao longo dos anos.

Embora, o segundo modelo aplicado seja mais robusto e considerando variáveis como NDVI, emissividade, os dois métodos apresentaram coerência, entre eles. Os mosaicos termal usando o modelo METRIC e SEBAL para os anos de 1989 e 2007 são apresentados na Figura 7 e 8.

A Figura 9 demonstra a diferença de temperatura de superfície, constatada entre os dois métodos. O mapa foi concebido através de simples álgebra entre as imagens termais dos métodos para o ano de 2007.

Este trabalho é considerado preliminar na aplicação do métodos para avaliação de temperatura de superfície, uma vez que o modelos não foram ainda validados por meio de dados observados na área de estudo. Pretende-se realizar esta validação, para que seja escolhido o modelo de conversão para a temperatura de superfície mais adequado. Sugere-se que, numa escala considerada macro como a deste trabalho, onde são usadas várias cenas orbitais, sejam considerados os efeitos atmosféricos que se distinguem de acordo com as datas de imageamento do satélite. Para melhor acurácia dos resultados seria de grande importância a utilização de imagens do mesmo período.

Os resultados obtidos são considerados satisfatórios sob o aspecto da utilização de Geotecnologias e do entendimento de que as mesmas proporcionam mais clareza na identificação e espacialização dos problemas. Entretanto, pretende-se

realizar um estudo mais aprofundado, com um maior número de informações reunidas, para permitir a identificação e correlação "pixel a pixel" entre os mapas termais (obtidos segundo os métodos de conversão apresentados) e a espacialização de dados de chuva do mesmo período para estabelecer uma possível relação entre o aumento da temperatura e as alterações no regime pluviométrico.

Desta forma, torna-se possível avaliar as possíveis mudanças climáticas vivenciadas nos maiores centros urbanos do Estado da Paraíba, influenciadas pelo aumento de temperatura.

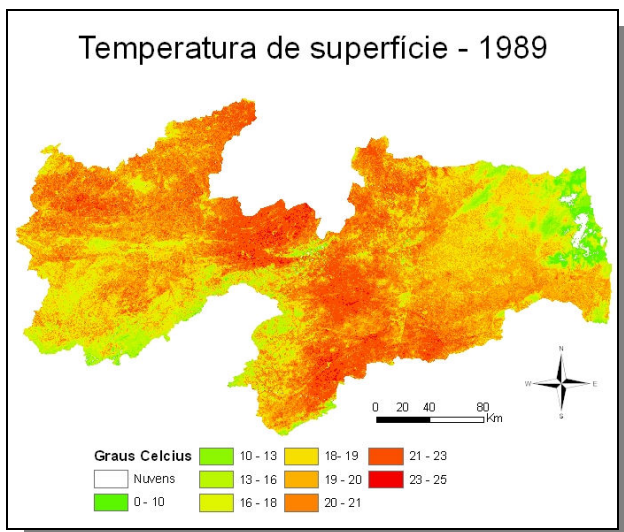


Figura 5 -Mosaico Termal PB, 1989 (MARALET)

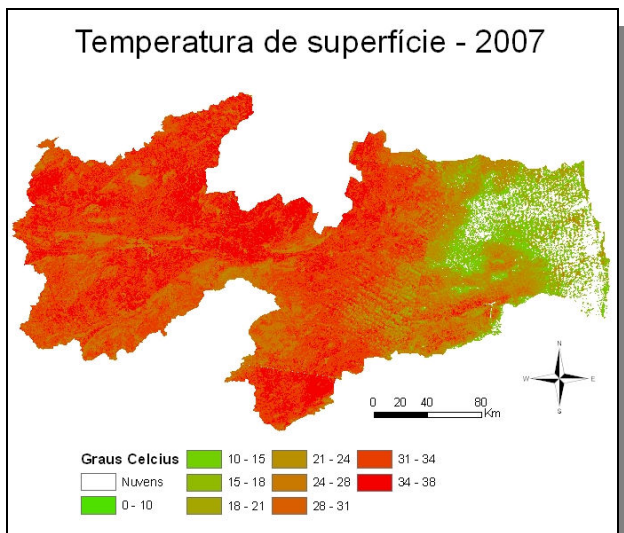


Figura 6 - Mosaico Termal PB, 2007 (MARALET)

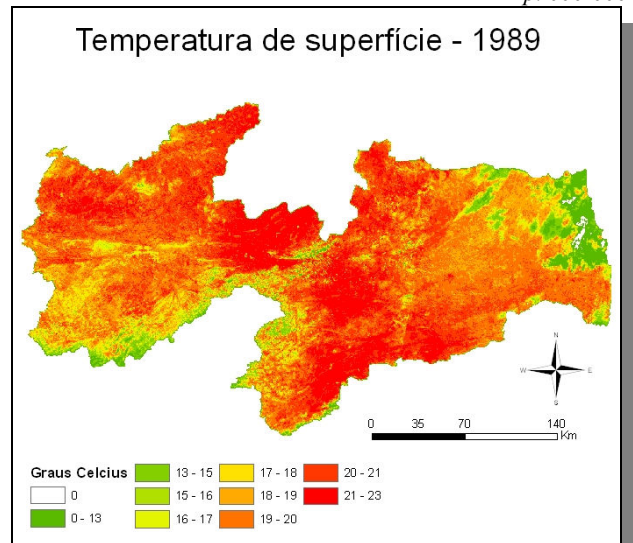


Figura 7 -Mosaico Termal PB, 1989 (METRIC e SEBAL)

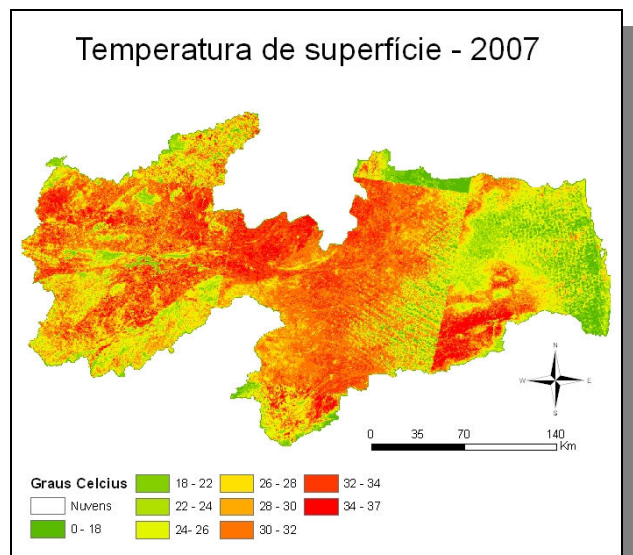


Figura 8 -Mosaico Termal PB, 2007 (METRIC e SEBAL)

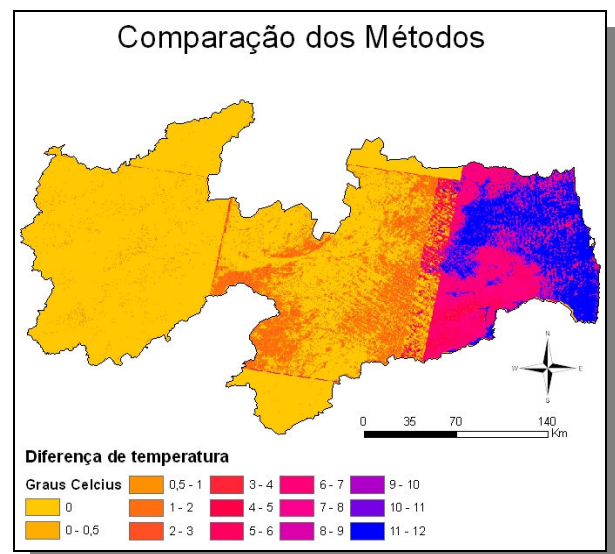


Figura 9 –Comparação dos métodos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ALLEN, R.G., TASUMI, M. and TREZZA, R.. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 380-394, 2007.
- ARAÚJO, T. L. **Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LANDSAT**. Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2006.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Tese (Ph.D.). Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, , 2674–2677, 2003.
- 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.
- INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>, acessado em março de 2008.
- LIMA, C. O.; BARBOSA, M. P.L.; Vera, L. A. S., Miguel, J. Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por sais na região de Sousa, PB. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.361-363, 2001 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB - <http://www.agriambi.com.br>.
- LIU, W. T. H., **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Ed. UNIDERP, Campo Grande, 2007.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.
- MALARET, E; BARTOLUCCI, L A; LOZANO, D F; ANUTA, P E; MCGILLEM, C D. (1985). Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis In: **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 51, pp. 1407-1416. Sept. 1985.
- MARINHO, L. S. **Abastecimento d'água em pequenos aglomerados urbanos do estado da Paraíba**. Dissertação (mestrado) – UFPB/CT– João Pessoa, 2006.
- MEIRELES, M. **Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- MENDONÇA, J. C. **Estimativa da Evapotranspiração Regional Utilizando Imagens Digitais Orbitais na Região Norte Fluminense, RJ**, (Tese Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 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*. V35, 135-146, 1996.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 86, p. 370-384, 2003.
- WELIGEPOLAGE, K., **Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, The Netherland**, Tese de Mestrado, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, 114f, 2005.
- WENG, Q. & QUATTROCHI, D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. *Remote Sensing of Environment*, 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* 89, v.66, n.23,p.467–483, 2004.