

Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto

Elânia Daniele Silva Araújo¹ Janaína Barbosa da Silva² Célia Cristina Clemente Machado³

¹ Mestranda em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Conjunto Castelo Branco III, João Pessoa – PB – CEP: 58015-900. (83) 987750845, elani@hotmail.com (autor correspondente). ²Professora Doutora da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande - PB - CEP: 58429-900. (81) 991919834, janima.barbosa@ufcg.edu.br. ³Pós-Doutoranda em Biodiversidade da UFPB Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Areia - PB, CEP: 58397-000. celliaccmachado@gmail.com.

Artigo recebido em 04/02/2016 e aceito em 29/05/2016

RESUMO

A intensa urbanização causa diversos problemas de natureza ambiental, climática e social. O crescimento não planejado da população urbana e a remoção da vegetação são fatores que intensificam estes problemas. As temperaturas na cidade são significativamente mais quentes do que as suas zonas rurais circundantes devido às atividades humanas. As intensas mudanças espaciais em áreas urbanas, promovem significativo aumento na temperatura, causando o chamado efeito de Ilha de Calor Urbano (ICU). Campina Grande é uma cidade de tamanho médio que experimentou um crescimento desordenado, desde o tempo do comércio de algodão e, como qualquer cidade de grande ou médio porte, sofre alterações em seu espaço. Dessa forma, este estudo teve por objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície (Ts) e detectar ICU, através de técnicas de sensoriamento remoto. Para o efeito, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8, dos anos de 1995, 2007 e 2014. Aumentos da Ts foram bem evidentes e foram detectadas duas ICU. Campina Grande mostra um padrão de tendência: o crescimento urbano não planejado é responsável por mudanças no ambiente físico e na forma e estrutura espacial da cidade, o que se reflete sobre o microclima e, em última análise, na qualidade de vida das pessoas.

Palavras chave: Temperatura a superfície; ilhas de calor; urbanização.

Identification of heat islands in Campina Grande City-PB using Remote Sensing

ABSTRACT

The intense urbanization causes several problems of environmental, climate and social nature. The unplanned growth of urban population and the vegetation removal are factors that deepen these problems. Temperatures in the city are significantly warmer than its surrounding rural areas due to human activities. Large spatial changes in urban areas promote significant increase in temperature, causing the so-called Urban Heat Island effect (UHI). Campina Grande is a medium-sized town that experienced an uncontrolled growth since the time of the cotton trade and like any large or medium-sized city, undergoes changes in its space. Therefore, this study aimed to analyze surface temperature spatial and temporal variability and to detect potential UHI, through remote sensing techniques. Spectral images from Landsat 5 and 8 satellites were used. Using images from years 1995, 2007 and 2014, considerable increases in temperature were identified and two UHI were recognize. Campina Grande shows a trend pattern: the urban unplanned growth is responsible for changes in the physical environment and in the form and spatial structure of the city, reflecting on people quality of life. Keywords: change detection, surface temperature, heat islands, urbanization.

Introdução

A intensificação da urbanização vem causando uma série de problemas às cidades seja de cunho ambiental, climático, social ou todos combinados. O aumento desordenado da população urbana, a retirada da cobertura vegetal, a atividade humana aliada ao grande número de edificações e veículos em circulação, superfícies asfaltadas e indústrias modificam significativamente o microclima urbano. Os materiais que recobrem a superfície urbana, como o asfalto, concreto, telhas

entre outros, de baixa capacidade térmica (aquecem e arrefecem rapidamente), têm vindo a substituir a cobertura vegetal e originando uma alteração na distribuição espacial e temporal das temperaturas nas cidades. As elevadas temperaturas observadas na cidade, são um dos resultados dessa intensa urbanização em oposição à zona rural, relativamente mais fria, que a circunda. (Jensen, 2009).

O sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e a sua urbanização é chamado de

"clima urbano" e este é resultado de ações antrópicas conjugadas com os aspectos geoambientais do sítio urbano (Monteiro, 1976). Assim, a ocorrência de mudanças espaciais nas áreas urbanas, promovem um impacto significativo na elevação da temperatura causando o fenômeno "Ilha de Calor - IC", que pode ser caracterizado como o aumento da temperatura do centro urbano em relação a periferia ou a zona rural que a circunda, tornando-se uma consequência da intensa urbanização característica das grandes e médias cidades brasileiras (Oliveira et al., 2013).

A Cidade de Campina Grande segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2010) é um exemplo de cidade de porte médio que teve um crescimento desordenado desde a época do comércio algodoeiro. O fator propulsor foi a chegada da ferrovia, que possibilitou seu desenvolvimento entre 1930 e 1940 (Oliveira, 2005). Desde então, a Cidade foi sendo ampliada de forma intensa decorrente do aumento populacional e de intensa industrialização e modernização.

Atualmente, Campina Grande é considerada a Cidade de maior porte do interior do estado, tem uma influência (direta ou indiretamente) na dinâmica econômica e espacial de outras cidades e destaca-se por oferecer diversos tipos de serviços educacionais, de saúde, econômico e etc. (Oliveira, 2014).

Para a identificação e mapeamento do fenômeno IC buscou-se o aporte do Sensoriamento Remoto, que vem se revelando muito eficaz nesses e em outros tipos de análises, promovendo o diagnóstico, monitoramento e possibilitando ao pesquisador trabalhar com uma gama de informações sem a necessidade de análises *in loco*. Este também permite o diagnóstico espaçotemporal que é de significativa importância, pois possibilita a identificação das transformações ocorridas num determinado intervalo de tempo, principalmente pela existência de extensos bancos de imagens de satélites adquiridas desde 1972.

Para a realização de trabalhos relacionados a climatologia em si, a escassez de dados meteorológicos, principalmente quando se trata de amplas extensões territoriais acaba por impossibilitar ou restringir a efetivação dessas pesquisas. O uso de dados estimados a partir das imagens orbitais vem se revelando como alternativa eficaz, pois possibilita a diminuição da dependência de dados medidos por estações meteorológicas e manipular os dados orbitais para a identificação da temperatura, dentre outros tipos de análises (Sediyama et al.,1998).

Dentre as análises com imagens de satélites, destacam-se monitoramento e análise

O termo 'Sensoriamento' significa a obtenção de dados por meio de sensores, enquanto 'Remoto' refere-se a distância, assim o Sensoriamento Remoto (SR) é a ciência que permite a obtenção de dados e informações da superfície terrestre sem que haja o contato físico com seus alvos. Visa a obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. É muito eficaz na diminuição de custo e de tempo, pois reduz as idas a campo, porém, é fundamental a validação dos dados resultante deste processo, para subsidiar esta perspectiva de análise (Jensen, 2009; Novo, 2010; Florenzano, 2011).

A principal fonte de energia do SR é o Sol, sua radiação se propaga na forma de ondas em todas as direções. O espectro eletromagnético distribuição representa a da radiação eletromagnética (REM) por regiões, segundo o cumprimento de onda e frequência. Este abrange desde curtos comprimentos de onda (raios cósmicos e raios gama de alta frequência) até os longos (rádio e TV de baixa frequência). Na região do espectro visível $(0.38 - 0.76 \mu m)$, o olho humano enxerga a energia eletromagnética em forma de luz, podendo distinguir as cores do violeta ao vermelho. Já a radiação do infravermelho é subdividida em três regiões: infravermelho próximo (0,7-1,3µm), médio (1,3-6,0µm) e distante ou termal (6,0-1.000µm) (Lillesand e Kiefer, 1999; Florenzano, 2011).

O comprimento de onda da faixa óptica do espectro que determinado sensor opera é chamado de radiometria óptica espectral. Essa é de fundamental importância para o SR, pois é por meio das medidas radiométricas de laboratório ou de campo que pode ser descoberta qual a intensidade que cada alvo reflete a REM nos diferentes cumprimentos de onda do espectro, dessa maneira permitindo entender "comportamento" desses alvos nas imagens (Meneses e Moreira Neto, 2001).

Assim, o SR pode ser utilizado para diversos fins através da interpretação dos dados de reflectância dos alvos. Moreira (2005) classifica três tipos de coletas de dados e os respectivos sensores utilizados em cada uma delas: A coleta de dados espectrais em nível terrestre; suborbital e orbital.

Assim, há possibilidades de inúmeros tipos de análises que vão desde a coleta de dados *in situ* até imagens de satélites que podem dar acesso as informações de uma extensa área.

espaço temporal da vegetação (Tottrup e Rasmussen, 2003; Ferreira et al., 2012; Silva,

2012), Detecção de Mudanças ocorridas através do parâmetro escolhido, seja temperatura da superfície, índice de vegetação por diferença normalizada-IVDN, saldo de radiação (Mas, 1999; Menke et al., 2009; Machado, 2014), temperatura da superfície a partir do infravermelho termal, para identificação de mudanças climáticas e Ilhas de Calor urbanas (Parizoto e Campos, 2015; Barbosa e Vecchia, 2009; Ortiz e Amorim, 2011), ou outros. Nessa pesquisa, optou-se pela detecção de mudanças e a análise da temperatura, detalhados a seguir.

Quanto a temperatura da superfície, todos os objetos que têm valor acima do zero absoluto (0 °K) emitem energia eletromagnética, nesse sentido todas as feições encontradas cotidianamente na paisagem (vegetação, rocha, água, etc.) emitem radiação eletromagnética infravermelha termal na porção de 3,0 – 14 µm do espectro (Jensen, 2009). A partir da emissão da energia eletromagnética é possível a interpretação dos dados, sendo possível calcular e analisar espaço temporalmente a temperatura da superfície de um determinado local a partir do uso de imagens orbitais que operam no termal e, assim, verificar os tipos de mudanças

ocorridas no ambiente. Os casos mais comuns são de mapeamento de Ilha de Calor urbana (Parizoto e Campos, 2015; Amorin et al., 2009; Coltri, 2006).

Mediante essa perspectiva, a presente pesquisa buscou a identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB através da estimativa da temperatura da superfície, em três imagens dos satélites Landsat 5 e 8, com data de passagem em 11-07-1995, 29-08-2007 e 16-08-2014.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

O município de Campina Grande possui uma área de 594,182km². Está situado à uma altitude de aproximadamente 550m acima do nível do mar, na região oriental do Planalto da Borborema, distante 130km de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, caracterizando-se como a segunda maior cidade do estado e a economicamente mais dinâmica do interior (Figura 1).

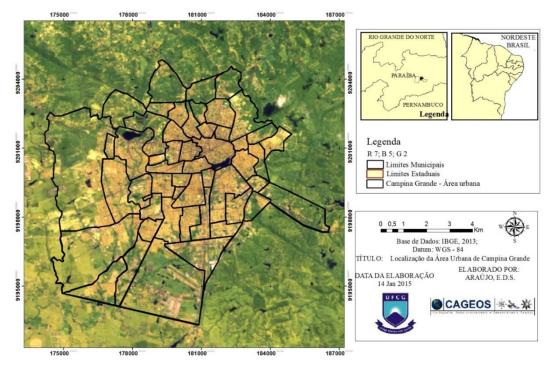


Figura 1. Localização da área de Estudo.

Processamento Digital das Imagens de Satélite

Selecionaram-se os dados dos sensores TM e OLI, satélites *Landsat* 5 e 8 respectivamente, devido ao equilíbrio vantajoso entre suas resoluções, espacial, espectral e temporal para

estudos ambientais, além de sua extensa coleção de dados.

Deste modo, foram adquiridas três imagens, de órbita e ponto 214-65, com data de passagem em 11 de julho de 1995, 29 agosto de 2007e 16 de agosto de 2014. Optou-se pelo período

chuvoso de forma a garantir o maior adensamento foliar do dossel, e portanto, facilitando a distinção da vegetação dos outros alvos da superfície.

As imagens tiveram as informações presentes em suas bandas 3, 4, e 6 (TM) e 4, 5 e 10 (OLI) que correspondem as faixas do vermelho (R), infravermelho próximo (IR) e termal (IRs) respectivamente empilhadas, ou seja, agrupadas de modo que possibilitasse a realização das demais calibrações e correções de uma única vez.

As imagens foram recortadas conforme a delimitação territorial da área de estudo a partir da *shapefile* da área urbana e em seguida reprojetadas, utilizando o *software* Erdas 10, licenciado para Laboratório de Cartografia Digital, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CADIGEOS) dos cursos de pós-graduação do Centro de Humanidades da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Landsat 5

O processamento consistiu na calibração radiométrica proposta por Markham e Baker (1987), que pode ser efetuada através da fórmula a seguir (Equação 1):

Eq 1:
$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

em que a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima; ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite *Landsat5* - TM.

Em sequência foi feita a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente segundo equação indicada por Bastiaanssen et al. (1995), Allen et al. (2002) e Silva et al.(2005) denominada de cômputo da reflectância, obtido através da seguinte fórmula (Equação 2):

Eq 2:
$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi.L_{\lambda i}}{k_{\lambda i}.\cos Z.d_r}$$

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

Landsat 8

Para o processamento da calibração radiométrica é necessário a utilização dos elementos fornecidos no arquivo metadados disponível para a imagem utilizada, a fórmula (Equação 3) é disponibilizada pelo USGS (2015):

Eq 3:
$$L \lambda = M L * Q cal + A L$$

onde L_{λ} = radiância espectral, M_L = fator de mudança de escala multiplicativo, A_L = fator aditivo e Q_{cal} = valores de pixel calibrados do produto padrão Quantized (DN).

Em seguida, prosseguiu-se para o cálculo da reflectância que pode ser obtido a partir da seguinte fórmula (Equação 4) disponibilizada também pelo USGS (2015):

Eq 4:
$$\rho \lambda' = \frac{(M \rho * Q cal + A \rho)}{CosZ}$$

onde: $\rho\lambda'$ = refletância planetária, sem correção para o ângulo solar. M_{ρ} é o fator multiplicativo, A_{ρ} = é o fator aditivo e Q_{cal} = valores de pixel calibrados do produto padrão Quantized (DN).

Estimativa da Temperatura a Superfície (Ts)

Para Landat 5

Para tal análise é necessária a aplicação de alguns índices até chegar a fórmula final que permitirá estimar a Temperatura a Superfície (Ts). O primeiro passo é o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo-IVAS (SoilAdjustedVegetation Index- SAVI), este é um índice que busca amenizar os efeitos do background do solo, descrito a seguir (Equação 5) (Huete, 1988):

Eq 5: IVAS =
$$(1 + L) * \frac{\rho \text{ iv} - \rho \text{ v}}{L + \rho \text{ iv} + \rho \text{ v}}$$

onde L é um fator de função da densidade da vegetação e sua determinação requer um conhecimento a *priori* da quantidade de vegetação, ρ iv é a banda do infravermelho e ρ v a banda do vermelho.

Em seguida foi calculado o Índice de Área Foliar-IAF (Leaf Area Index - LAI) de característica biofísica é definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta, onde ln é o logaritmo neperiano. A fórmula (Equação 6) foi desenvolvida por Allen et al. (2002):

Eq 6:

IAF =
$$-\frac{\ln(\frac{0.69 - IVAS}{0.59})}{0.91}$$

A emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal é o próximo passo para a

estimativa da temperatura, e é calculada (Equação 7) por Allen et al. (2002):

Eq 7:
$$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 * IAF$$

Para obtenção da Ts utilizou-se a radiância espectral da banda termal ($L_{\lambda\text{-}6}$) e a emissividade de cada pixel (ϵ_{NB}), a partir da aplicação da equação de Plank invertida (Equação 8) (Markham e Barker 1987):

Eq 8:
$$Ts = \frac{K_2}{\ln(\frac{\varepsilon_{NB}K_1}{L\lambda_6} + 1)}$$

onde K₁= 607,76 Wm⁻² sr⁻¹ μm⁻¹ e K₂ =1260,56 K são constantes de calibração específicas da banda termal do *Landsat*5. A Ts é obtida em Kelvin (°K), porém foi necessário converter para Celsius (°C) visto esta ser a unidade adotada no Brasil. Para tanto, subtraiu-se 273,15 à temperatura obtida pela equação 9 (Equação 9).

Eq 9:
$$Ts_{({}^{\circ}C)} = Ts - 273.15$$

Após obtida a Ts_(°C), foi feita uma classificação supervisionada colorindo as classes de acordo com seus valores de temperatura por meio do *software* ArcGis.Inicialmente criaram-se 2 classes, para melhor visualização da área geral da Cidade e, posteriormente,5 classes, para detalhar a variação da temperatura por bairros.

Para Landsat 8

Para obtenção da estimativa da temperatura do *Landsat* 8 utilizou-se a fórmula (Equação 10) também disponibilizada pelo USGS:

Eq 10:
$$Ts = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L\lambda_{10}} + 1)}$$

onde:, L_{λ} é radiância espectral da banda 10, K_1 e K_2 são as constantes de calibração da banda do termal (disponível nos metadados da imagem).

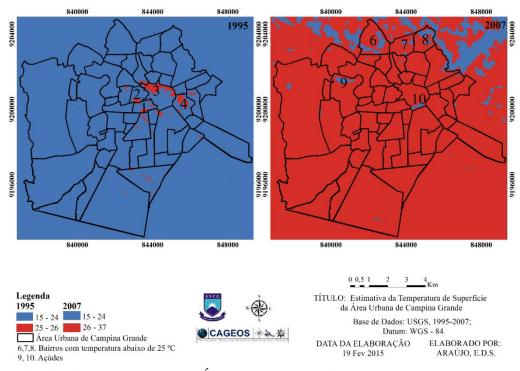
Resultados e discussão

Temperatura a Superfície (Ts)

As alterações decorrentes da substituição de áreas vegetadas por construídas tem acarretado alterações no clima local de cidades e municípios por todo planeta. Através da análise da temperatura a superfície, estimada para a imagem de 1995, identificou-se o valor mínimo de 15°C, nos bairros afastados da Área Central da Cidade e máximo de 26°C, concentrado no Centro e bairros do entorno como São José, Catolé, Prata e José Pinheiro (Figura 2 pontos: 1, 2, 3 e 4).

Na análise da imagem de 2007, as temperaturas mínimas identificadas estavam entre 15 e 25°C configuradas em verdadeiras "ilhas de amenidades de temperatura" nos bairros Serrotão, Cuités, Jardim Continental, Louzeiro e Bairro das Nações (Figura 2: pontos 6, 7 e 8) e as máximas entre 32 e 37°C em praticamente toda Cidade. As áreas com menores temperaturas encontrada nos bairros de Bodocongó e Centro são os Açúdes existentes (Figura 2 pontos 9 e 10).

Ao camparar a temperatura das imagens de 1995 com 2007, identificou-se aumento da temperatura na Área Central da Cidade em 6°C (Figura 3: ponto 11), um aumento de aproximadamente 10°C para a área sudoeste e o destaque do bairro Três Irmãs que apresentou o maior aumento equivalente a 15°C. Para o restante da área estimou-se um aumento médio de 6°C. Os bairros com temperatura mínima que antes estavam entre 15 e 18°C em 1995 (Figura 3: pontos 5, 6, 7 e 8) são estimadas em 2007 entre 23º e 26ºC, totalizando um aumento de 8°C (Figura 3). Em geral houve um aumento em 11°C para as máximas e 8°C para as resultados mínimas. Estes devem-se, principalmente, à retirada da cobertura vegetal, dando espaço ao crescimento urbano desordenado.



Figuras 2. Estimativa da temperatura para a Área Urbana de Campina Grande (1995 e 2007).

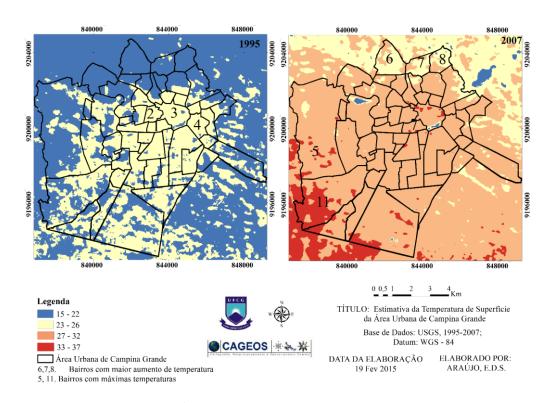


Figura 3. Variação da temperatura da Área Urbana de Campina Grande entre 1995 e 2007.

Para a área em estudo, Morais e Silva (2012) identificaram que entre os anos de 1989 e 2007 a temperatura mínima aumentou 3°C e a máxima 13°C como reflexo do aumento da retirada da cobertura vegetal e do crescimento da área urbana que em 1989 foi contabilizada em 32% e em 2007 passou a 56% da área total do município de Campina Grande.

Na Cidade de Teresina-PI, Feitosa et al. (2011) identificaram também aumento da temperatura, passando de 34°C em 1989 para 37,6°C em 2009, os autores também fizeram uma análise por Detecção de Mudanças e constataram que onde houve redução da vegetação ocorreram as maiores temperaturas.

Analisando a temperatura a superfície na imagem de 2014, a estimativa entre 10° e 21°C são referentes as nuvens sobre a Cidade. A mínima estimada para a área foi de 22°C e a máxima de 28°C nos bairros Serrotão, Três Irmãs, Malvinas e Presidente Medici (5, 11, 12 e 13) e toda a Área Central (Figura 4).

Os resultados de 2014 revelam uma diminuição da temperatura se comparada com a

imagem de 2007. Para os bairros do Serrotão e Malvinas (Figura 5: pontos 5 e 12) houve uma queda de 4°C.

Nas áreas centrais diminuiu 9°C e o bairro Três Irmãs (Figura 5: ponto 11) onde foi encontrado as máximas temperaturas em 2007 diminuiu 9°C. Analisando a área em geral houve uma diminuição de 9°C.

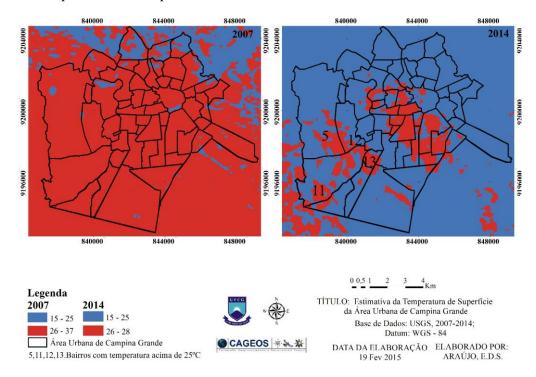


Figura 4. Estimativa da temperatura para a Área Urbana de Campina Grande (2007 e 2014).

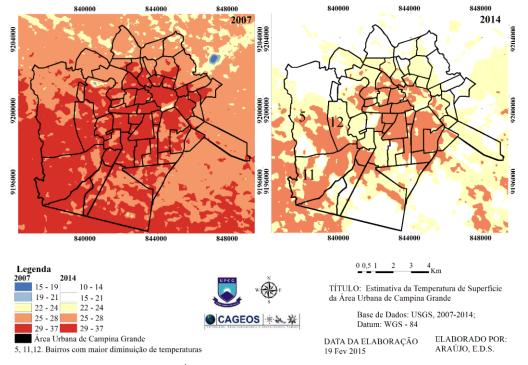


Figura 5. Variação da temperatura da Área Urbana de Campina Grande entre 2007 e 2014.

A diminuição da temperatura entre 2007 e 2014, pode ser explicada a partir da precipitação. De acordo com a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), 2015 cinco dias antes do imageamento precipitou 16mm, o que pode ter influenciado a estimativa para esse ano. Em 2007 também cinco dias antes precipitou apenas 2,1mm e em 1995 a precipitação foi de 1mm (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação 5, 10, 20 e 30 dias antes do imageamento

Anos	Precipitação (mm)			
	5 dias	10 dias	20 dias	30 dias
11-07-1995	1,0	2,4	16,2	1,2
29-08-2007	2,1	1,0	1,1	0
16-08-2014	16,0	0	0	2,2

Estudos de estimativas de temperatura tem sido realizado para identificação de possíveis alterações ambientais de áreas urbanas e agrícolas.

No Distrito Federal, Gomes (2011) realizou análises com imagens de satélite dos anos 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011. Até o ano de 1997 foi constatado um aumento da temperatura como reflexo das atividades antrópicas, mas, a partir do ano de 2003, obtive-se uma diminuição dessa. Segundo a autora, tal resultado está associado ao aumento das áreas vegetadas e ou áreas irrigadas.

Na Cidade de Maceió para os anos de 1990, 1998 e 2003 Araújo e Di Pace (2010), constataram um aumento da temperatura no primeiro intervalo de análise e uma diminuição para o segundo, ou seja, em 1990 a estimativa foi de 24,2°C já em 1998 identificou 26,9°C, reduzindo 2003 para 24,9°C. A queda da temperatura está associada a precipitação, visto que no mês do imageamento por satélite em 2003 precipitou mais que o mês de captura da imagem de 1998, isso influenciou na estimativa da temperatura causando uma diminuição desta no último intervalo analisado.

Comparando as imagens de 1995 e 2014 verificou-se o aumento da temperatura na Área Central e em alguns bairros da periferia com ênfase para o Serrotão, Três Irmãs, Malvinas e Presidente Médici (Figura 6: pontos 5, 11, 12 e 13).

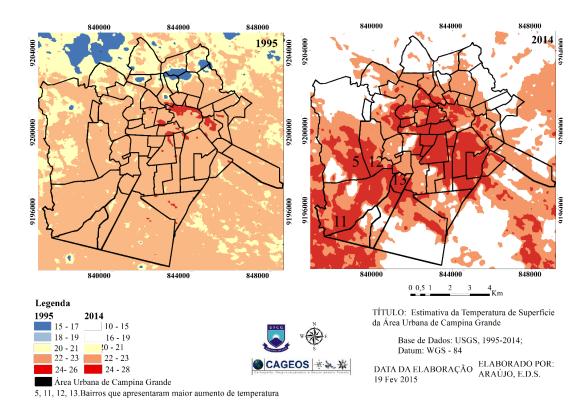


Figura 6. Estimativa da temperatura para a Área Urbana de Campina Grande (1995 e 2014).

Foi identificado nos bairros Três Irmãs e Malvinas (Figura 7: pontos 11 e 12) e no Centro e entorno um aumento de 5°C. Não foi possível estimar a temperatura dos bairros que apresentaram

mínimas no ano de 1995, pois em 2014 esses foram cobertos por nuvem, o que influenciou na análise.

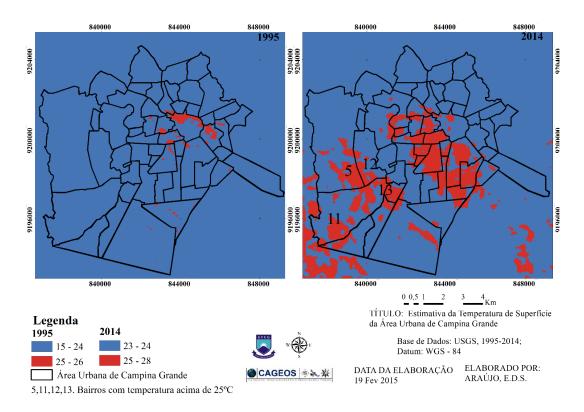


Figura 7. Variação da temperatura da Área Urbana de Campina Grande entre 1995 e 2014.

Constata-se que a temperatura em Campina Grande vem aumentando ao longo dos anos, fator decorrente da substituição da cobertura vegetal por áreas urbanizadas e/ou construídas, provenientes do aumento populacional.

Analisando a Bacia do Rio Brígida em Pernambuco entre os anos de 1985 e 2001, Lopes et al. (2010) encontraram um aumento de 12°C decorrente da redução da vegetação. No extremo Norte da Bahia, divisa com Pernambuco foi estimado um aumento de 20% da temperatura entre os anos de 2008 e 2010, as maiores temperaturas foram encontradas em áreas de solo exposto e áreas urbanas (Melo et al., 2011).

Identificação de Ilhas de Calor

A estimativa da temperatura serviu como base para a identificação do fenômeno Ilhas de

Calor (IC) em Campina Grande. Através da comparação entre as imagens de 1995 e 2014 foi possível constatar onde houve o aumento de temperatura e por sua vez localizar tal fenômeno.

As maiores elevações de temperatura foram encontradas em toda a Área Central da Cidade bem como em alguns bairros periféricos.

Desse modo, foram identificadas duas formações de IC. A primeira delas (IC 1) localizada na Área Central e entorno, que se estende desde o Centro da Cidade até os bairros Sandra Cavalcante, Itararé e Vila Cabral na área sudeste. A segunda (IC 2) localiza-se no bairro do Velame. Identificaram-se também duas Áreas de Risco de formações futuras de IC (AR). A primeira delas na área sudoeste compreende os bairros Serrotão, Malvinas, Presidente Médici e parte do Três Irmãs (AR 1). E a segunda na área sudoeste do bairro Três Irmãs e no Bairro das Cidades (AR 2) (Figura 8).

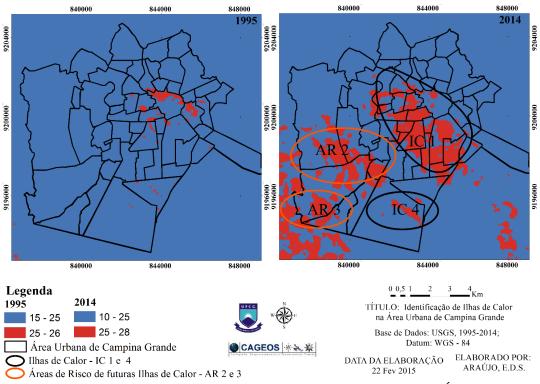


Figura 8. Identificação de ilhas de calor e das áreas de riscos de formação futura na Área Urbana de Campina Grande.

O aumento da temperatura nesses bairros e a formação das IC tem forte ligação com a diminuição da cobertura vegetal. A IC 1 que está localizada no Centro e entorno por ser este o Centro nervoso da Cidade, intenso fluxo de veículos automotivos e pessoas durante todo dia decorrente de atividades relativas a trabalho, comércio e serviços, além de concentrar várias construções e áreas impermeabilizadas bem como edifícios que dificultam a circulação do ar.

Analisando a Cidade de Piracicaba, Coltri (2006) identificou IC no Centro com temperaturas de até 34°C, atribuindo a formação do fenômeno as estruturas com telhas de cimento, amianto e ao asfalto, além da ausência de vegetação. Em Piratininga também foi identificada formação de IC na área urbana, os autores também atribuem tal fator ao asfalto, circulação de veículos e edificações, embora tenham encontrado em alguns pontos temperaturas amenas devido a uma área vegetada. (Parizoto e Campos, 2015).

A cidade de Campina Grande passa atualmente por um processo de expansão para a área sudoeste, no que se refere a serviços e habitações. As AR 2 e AR 3 que compreende os bairros Serrotão, Malvinas, Três Irmãs e Bairro das Cidades, são a expressão mais significativa dessa expansão.

O bairro das Malvinas é atualmente o mais populoso da Cidade com 38.713hab (IBGE, 2010). Para suprir essa demanda populacional há a

necessidade de construções e oferecimento de outros serviços, no caso desse bairro são oferecidos serviços hospitalares, educacionais, além de uma grande demanda comercial. De acordo com Oliveira (2014), o bairro das Malvinas constitui-se como uma importante localidade no espaço intraurbano da Cidade, sendo caracterizado como uma das novas centralidades comerciais e de serviços, tal desenvolvimento gera a substituição da cobertura vegetal, refletindo no aumento da temperatura e resultando na formação de uma futura área de risco de ilha de calor. O Serrotão, Três Irmãs e Bairro das Cidades estão inclusos no segundo grupo e tem o aumento significativo da temperatura proveniente do crescente número de habitações. Nos últimos anos cresceram consideravelmente os investimentos habitacionais seja por programas governamentais ou empresas privadas naquela área.

Na Cidade do Recife foram identificadas IC em duas composições urbanas distintas. A primeira no Centro urbano onde há o intenso uso do solo para atividades comerciais, de serviços, grandes aglomerados de edificações e maior circulação de pessoas e veículos. E a segunda foi identificada na planície com áreas edificadas e de uso do solo para fins residenciais. Esta segunda área possui característica de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) composta por famílias de alta vulnerabilidade socioeconômica que segundo os autores, constroem suas residências com

materiais que intensificam o aumento da temperatura (Barros e Lombardo, 2012).

A IC 4 identificada no bairro do Velame está próxima também do Distrito Industrial, nesse caso o aumento significativo dessa temperatura está relacionado as industrias ali existentes.

Em Presidente Prudente Amorim et al. (2009), encontraram IC no Centro e nos bairros industriais e associaram a formação desse fenômeno a densidade de construções e por serem áreas não vegetadas.

Estudos sobre arborização urbana estão sendo desenvolvidos para amenizar os impactos causados pela retirada da cobertura vegetal, desconforto térmico devido ao aumento de temperatura e formações de fenômenos de IC, comprovando que o aumento das áreas verdes e temperaturas mais amenas promovem uma melhor qualidade de vida nos espaços urbanos (Silva et al., 2003; Siebert, 2004; Cabral, 2013).

Conclusões

Analisando a estimativa da temperatura a superfície identificou-se um aumento de 11°C para a máxima e 7°C para a mínima entre 1995 e 2007. Comparando as imagens de 2007 e 2014 identificou-se diminuição da temperatura em 9°C para máxima. Quanto às imagens de 1995 e 2014 houve um aumento de 5°C.

Foram identificadas duas formações de Ilhas de Calor nas Área Central, sul e duas Áreas de Riscos de futuras Ilhas de Calor na área sudoeste da Cidade respectivamente, como resposta à redução da cobertura vegetal, intensa urbanização e aumento populacional.

A cidade de CG reflete uma tendência de urbanização padrão, onde o crescimento não planejado provoca alterações no microclima urbano, que se manifesta em desconforto térmico e, por último, na diminuição da qualidade de vida das populações urbanas. Para tanto sugere-se o aumento das áreas verdes a partir da arborização que vem se mostrando como uma alternativa para a melhoria da qualidade de vida nos espaços urbanos.

Agradecimentos

À Janaína Barbosa e Célia Cristina Machado pelo apoio, dedicação e orientação;

Referências

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2015. Precipitação mensal e anual da cidade de Campina Grande. Campina Grande.

- Allen, R.., Bastiaanssen, W.G.M., Waters, R.., Tasumi, M., Trezza, R.., 2002. Algorithms Surface Energy Balance For Land (SEBAL), Idaho Implementation – Advanced Training Manual And Users.
- Amorim, M.C.C.T., Quenol, V.D.H, Sant'ana Neto, J.L., 2009. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). Revista Franco-Brasileira de Geografia [Online] 7. Disponível: GS SEARCH. Acesso: 03 nov. 2014.
- Araujo, T.L., Di Pace, F.T., 2010. Valores Instantâneos da Temperatura da Superfície Terrestre na Cidade de Maceió-AL Utilizando Imagens do Satélite TM/Landsat 5. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 3. Disponível: CrossRef. Acesso: 06 nov. 2014
- Barbosa, R.V.R, Vecchia, F.A.S., 2009. Estudos de Ilha de Calor Urbana por Meio de Imagens do Landsat 7 Etm+: Estudo de Caso Em São Carlos (SP). Revista Minerva [online] 2. Disponível: CrossRef. Acesso: 11 fev. 2015.
- Barros, H.R., Lombardo, M.A., 2012. A Relação entre Ilhas de Calor Urbana, Ocupação do Solo e Morfologia Urbana na Cidade do Recife. Revista Geonorte. Edição Especial 2, 65-76.
- Bastiaanssen, W.G.M., 1995 Regionalization of Surface Flux Densitiesand Moisture Indicators in Composite Terrain – A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates. Thesis Land Bouw Universiteit Wageningen, Netherland.
- Cabral, P.I.D, 2013 Arborização Urbana: Problemas e Benefícios. Revista Especialize IPOG. [online] 1. Disponível: <u>GS SEARCH</u>. Acesso: 19 fev. 2015
- Coltri, P.P., 2006. Influência do Uso e Cobertura do Solo no clima de Piracicaba, São Paulo: Análise de Séries Históricas, Ilhas de Calor e Técnicas de Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.
- Feitosa, S.M.R., Gomes, J.M.A., Moita Neto, J.M.; Andrade, C.S.P., 2011. Consequências da Urbanização Na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina – Piaui. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana 6, 58-75.
- Ferreira, J.M.S, Ferreira, H.S., Silva, H.A., Santos, A.M., Galvíncio, J.D., 2012. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina PE. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 4. Disponível: CrossRef. Acesso: 04 nov. 2014
- Florenzano, T.G., 2011 Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3 ed. Oficina de Textos, São Paulo.

- Gomes, L.C.F., 2011. Dinâmica da Temperatura da Superfície em Resposta às Alterações na Cobertura e uso do solo utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Huete, A.R., 1998. Adjusting vegetation indices for sail influences. International Agrophysics 4, 367-376.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Estimativa da População de Campina Grande de acordo com o censo de 2010. Campina Grande. Disponível: <u>GS</u> <u>SEARCH</u>. Acesso: 03 nov. 2014.
- Jensen, J. R.. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Parêntese Editora, São José dos Campos.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1999. Remote Sensing and image interpretation. 4 ed. Seventh Edition, United States of America.
- Lopes, H.,L., Candeias, A.L.B., Accioly, L.J.O., Sobral, M.C.M., Pacheco, A.P., 2010. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online] 14. Disponível: CrossRef. Acesso: 19 fev. 2015.
- Machado, C.C.C., 2014. Alterações da superfície no Parque Nacional do Catimbau (PE-Brazil): Indicadores Biofísicos e influência humana. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Markham, B.L., Barker, L.L., 1987. Thematic Mapper Bandpass Solar Exoatmospherical irradiances. International Journal Remote Sensing 8, 517-523.
- MAS, J.F., 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. Journal remote sensing 20. Disponível: <u>GS Search</u>. Acesso: 11 fev. 2015.
- Melo, J.A.A., Gomes, H.F.B., Caneiro, R.G., Santiago, D.B., Azevedo, C.D.S., 2011. Estimativa da Temperatura de Superfície através de Imagens Orbitais. Revista Águas no Semiárido [online] 4. Disponível: <u>CrossRef</u>. Acesso: 12 nov. 2014.
- Meneses, P.R., Madeira Neto, J.S., 2001. Sensoriamento Remoto reflectância dos alvos naturais. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- Menke, A.B., Carvalho Junior, O.A., Gomes, R.A..T., Martins, É.S., Oliveira, S.N, 2009. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no Município de Luis Eduardo Magalhães (BA Brasil). Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia [online] 21. Disponível: GS Search. Acesso: 17 nov. 2014.

- Monteiro, C.A.F., 1976. Teoria e clima urbano. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- Morais, R.D., Silva, J.B., 2012. Temporal Analysis Of The Surface Area Of Urban Campina Grande With Landsat 5 Tm. Journal of Hyperspectral Remote Sensing. [online] 2. Disponível: <u>CrossRef</u>. Acesso: 15 nov. 2014.
- Moreira, M.A., 2005. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação. 3 ed. UFV, Viçosa.
- Novo, E.M.L.M., 2010. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4 ed. Blucher, São Paulo.
- Oliveira, M.J.S., 2005, Do Discurso dos planos ao plano discurso: PDLI-Plano de desenvolvimento local integrado de Campina Grande 1970 1976. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Oliveira, T.H., Galvíncio, J.D., Pimentel, R.M.M., Silva, B.B., 2013. Uso e Cobertura do Solo e Seus Efeitos na Distribuição da Temperatura de Superfície em Área Urbana. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 6. Disponível: CrossRef. Acesso: 20 jan. 2015.
- Oliveira, T.A., 2014, O Processo de descentralização comercial e de serviços nos bairros da Cidade de Campina Grande-PB: do Centro tradicional para os Centros de bairro. Campina Grande.
- Ortiz, G.F., Amorim, M.C.C.T., 2011.

 Temperatura da superfície da Cidade de
 Cândido Mota/SP a partir da imagem de
 satélite Landsat 7. Revista Geográfica de
 América Central [online] 2. Disponível em:
 CrossRef. Acesso em: 13 dez. 2014.
- Parizoto, N.M.S.F., Campos, S., 2015. Estudo de Ilhas de Calor no Município de Piratininga/SP, por meio de Dados Orbitais do Landsat 5 Sensor TM. Revista Energia na Agricultura [online] 30. Disponível: CrossRef. Acesso: 02 dez. 2015.
- Sediyama, G.C., Ribeiro, A., Leal, B.G., 1998. Relações clima-água-planta, in: Faria, M.A., Silva, E.L., Vilela, L.A.A., Silva, A.M. (Eds.), Manejo de irrigação. Lavras, pp.46-85.
- Siebert, C.A.F., 2004 Arborização Urbana -Conforto Ambiental e Sustentabilidade: O caso de Blumenau – SC.
- Silva, E.M., Silva, A.M., MELO, P.H., Borges, S.S.A., Lima, S.C., 2003. Estudo da Arborização Urbana do Bairro Mansour, na Cidade de Uberlândia-MG. Revista Caminhos de Geografia [online] 3. Disponível: <u>CrossRef</u>. Acesso: 23 out. 2014.
- Silva, B. B.; Lopes, G.M.; Azevedo, P. V. 2005. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat5-TM. Revista

Brasileira de Meteorologia [online] 20.
Disponível: CrossRef. Acesso: 05 jan. 2015.
Silva, J.B., 2012. Sensoriamento Remoto
Aplicado ao Estudo do Ecossistema
Manguezal em Pernambuco. Tese (Doutorado).
Recife, UFPE.
USGS. Sistema Geológico dos Estados Unidos,

2015. Using the USGS Landsat 8 Product.

Disponível: CrossRef Acesso: 10 fev. 2015.
Tottrup, C., Rasmussen, M.S., 2003. Mapping long-term changes in savannah crop productivity in Senegal through trend analysis of time series of remote sensing data. Revista Agriculture, Ecosystems and Environment. 103, 545-560.