

Análise Multitemporal da Temperatura da Superfície por Meio de Imagens do TM Landsat 5 na Cidade de Palmas-TO

Multitemporal Analysis of Surface Temperature Through Images of Landsat 5 TM in the City of Palmas-TO

Juliana da Costa Santos

Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas, TO

juliana.scd@gmail.com

Roberta Araújo e Silva

Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO

beta_araj@yahoo.com.br

Girlene Figueiredo Maciel

Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO

maciel@uft.edu.br

José Luiz Cabral da Silva Júnior

Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO

jlcabral_jr@yahoo.com.br

Eduardo Baptistella Emiliano

Universidade Católica do Tocantins – Palmas, TO

eduardo3bemiliano@hotmail.com

Resumo: As evolutivas alterações no uso e ocupação do solo, decorrentes do processo de urbanização, resultam em modificações no clima das cidades, afetando o desenvolvimento do meio e a qualidade de vida da população. A temperatura da superfície é um importante parâmetro biofísico relacionado, dentre outros fatores, com o tipo de cobertura do solo e que influencia indiretamente a temperatura do ar. Palmas, capital do Tocantins, teve sua implantação no ano de 1989, passando por processos acelerados de crescimento populacional e expansão do seu Plano Diretor, sendo necessário

Recebido em 26/08/2013 - Aceito em 09/04/2014.

RECEN 15(2) p. 195-212 jul/dez 2013 DOI: 10.5935/RECEN.2013.02.03

o monitoramento das condições climáticas da região. Este estudo propõe a obtenção e análise da temperatura de superfície em Palmas, a partir de imagens de satélites do TM Landsat 5, para os anos de 1991, 2003 e 2010 e da utilização do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL visando identificar a variação multitemporal da temperatura da superfície, as mudanças ocorridas na cobertura do solo e possíveis condições favoráveis à ocorrência de Ilha de Calor. De acordo com os resultados apresentados, verificou-se um elevado aumento da temperatura da superfície do solo com amplitudes chegando a 11°C, para as datas e horários considerados.

Palavras-chave: clima urbano; ilhas de calor; sensoriamento remoto.

Abstract: The evolutionary land use and land cover changes (LULCC), derived from the process of urbanization, result in changes in the climate of the cities, affecting the development of the environment and the quality of life of the population. The temperature of the surface is an important biophysical parameter related, among other factors, with the type of land cover, which indirectly influence the temperature of the air. Palmas, the capital of Tocantins, had its deployment in the year 1989, passing by rapid processes of population growth and expansion of their Plan Master, which required the monitoring of the climate conditions of the region. This study proposes the retrieval and analysis of surface temperature in Palmas, from satellite images of TM Landsat 5 for the years 1991, 2003 and 2010, and the use of the algorithm Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL aiming to identify the multitemporal variation of surface temperature, the changes in land cover and possible favorable conditions the occurrence of heat island. According to the results presented there was a large increase in the temperature of the soil surface with amplitudes reaching 11 ° C, for dates and times considered.

Key words: heat island; remote sensing; urban climate.

1 Introdução

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seu estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das

idades. As condições climáticas dessas áreas, compreendidas como clima urbano, são provenientes da substituição e modificação da paisagem natural por um ambiente construído [1].

Dentre os variados efeitos perceptíveis pela população devido às alterações no clima em escala local, podem ser citados: as manifestações ligadas ao conforto térmico e à qualidade do ar, os impactos provocados pelas chuvas e outras perturbações capazes de desorganizar o dia a dia das cidades e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes. Tornam-se, portanto, causas de relevante importância na formação de um ambiente propício para o desenvolvimento da população [2]. Estima-se que, até 2025, 60% da população humana viverá e trabalhará sob a influência do clima urbano [3].

Diversos trabalhos científicos que abordam o clima urbano têm verificado que o processo de urbanização desordenada, juntamente com as alterações da cobertura da superfície do solo, modificam o balanço de energia e contribuem para o crescimento e intensificação do fenômeno das Ilhas de Calor (IC), caracterizadas pelo aumento da temperatura em regiões centrais, em relação às áreas periféricas nas cidades de pequeno, médio e grande porte [1, 4-6].

Esses estudos destacam os benefícios das áreas verdes nos microclimas urbanos visto que, dentre as inúmeras vantagens, pode-se destacar a função de amenizarem a temperatura local. A vegetação armazena menos energia que os materiais de construção, como asfalto, concreto, dentre outros, além de utilizar parte dessa energia na evapotranspiração, tendo assim, pouca energia para ser liberada no ambiente, daí o fato de as temperaturas serem mais baixas nas áreas vegetadas [7].

O conhecimento da temperatura da superfície é extremamente útil na detecção e monitoramento do estresse hídrico de culturas, na detecção de queimadas, no monitoramento de secas e em estudos sobre mudanças climáticas. Esse parâmetro pode ser obtido por meio de imagens de satélite que, além de serem acessíveis nos institutos de pesquisa e suprirem a carência de dados provenientes de estações meteorológicas, possuem grande cobertura espacial [8].

O sensoriamento remoto é uma notória e valiosa ferramenta utilizada nos estudos de clima urbano e ilhas de calor, pois, além de oferecer visões de diferentes escalas, permite a transformação de dados do infravermelho termal em temperatura da su-

perfcie, fornecendo resultados de fácil interpretação e compreensão. A temperatura obtida pelas imagens de satélite é a temperatura radiante da superfície que é um valor superior à temperatura do ar [9].

Palmas, a capital do Tocantins, é uma cidade planejada que teve a implantação do seu projeto urbanístico iniciada no ano de 1989, projeto esse que consistiu na substituição da vegetação nativa do bioma Cerrado por ruas e avenidas. Essa foi uma das primeiras ações dos administradores da época, ocorrendo o desmatamento de forma intensificada [10]. Nos últimos anos, o órgão de censo demográfico identificou um aumento populacional, entre os anos de 2000 a 2010, de 60%, associado a um crescente processo de urbanização, ações que vêm demandando evolutivas alterações no uso e ocupação do solo e a contínua remoção das áreas de cobertura vegetal nativa para implantação de construções.

Palmas é considerada a mais nova cidade do Brasil e caracterizada por um contingente populacional proveniente de diversas regiões do país, que busca oportunidades de negócios e empregos, já que diversos segmentos econômicos ainda podem ser explorados na região.

Dessa forma, a realização de estudos referentes aos possíveis efeitos que a mudança na cobertura da superfície pode ocasionar no microclima é imprescindível, pois esse conhecimento permite que se tenham informações acerca das necessidades de implementação de medidas de controle no desenvolvimento desordenado e acelerado da cidade, bem como de incrementar o planejamento e gerenciamento da preservação dos recursos naturais da região.

Diante do pressuposto, o presente trabalho tem por objetivo principal estimar a temperatura da superfície para a cidade de Palmas-TO, nos anos de 1991, 2003 e 2010, por meio da utilização das imagens do *Thematic Mapper* abordo do satélite Landsat 5 e aplicação do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL*, visando identificar a variação multitemporal da temperatura da superfície, as mudanças ocorridas na cobertura da superfície e a ocorrência de Ilhas de Calor.

2 Metodologia

2.1 Área de estudo

A capital do Estado do Tocantins, na região Norte do Brasil, localiza-se na Mesorregião Oriental do Estado, entre a Serra do Carmo e Lajeado e o Lago da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães, possuindo 2.218,937 km² de extensão territorial e altitude média de 260 metros. É o maior município do Estado em termos populacionais, com 228.332 habitantes dado apontado no Censo de 2010, sendo 221.742 residentes na área urbana e 6.590 na área rural, e tem a densidade demográfica de 102,90 hab/km² [11, 12].

No que diz respeito ao processo implantação, inicialmente, no ano de 1991, a ocupação ocorreu de maneira desordenada, ocasionando problemas de infraestrutura e no meio ambiente [10]. Em 1991, o município contava com uma população de 24.334 habitantes, enquanto em 2000 já havia 137.355 e, em 2010, contava com 228.332 habitantes, sofrendo um acelerado processo de crescimento e, conseqüentemente, urbanização [11].

O clima de Palmas – TO, de acordo com o Laboratório de Meteorologia da Universidade Federal do Tocantins– LABMET, na classificação de THORNTHWAITE, é C2wA'a' Subúmido, com duas estações bem definidas (uma chuvosa e a outra seca), apresentando, durante a estação seca (inverno), moderada deficiência hídrica, megatérmico com evapotranspiração potencial anual de 1688,2 mm (dos quais 61,03% se concentra no verão). As temperaturas oscilam entre mínimo de 15,4°C (julho) e máximo de 35,2°C (setembro).

O regime pluviométrico apresenta características tipicamente tropicais, com precipitação acumulada de 1519,4 mm, com mais de 91% desse volume concentrado entre os meses de outubro e abril (estação chuvosa). Por outro lado, o período entre os meses de abril e setembro (estação seca) caracteriza-se pelos baixos índices pluviométricos, quando se observa, por vezes, ausência total de chuvas em pelo menos trinta dias consecutivos, período que é, também, caracterizado pela elevada ocorrência de queimadas.

2.2 Imagens de satélite

Neste estudo foram utilizadas três imagens do *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5, referentes aos anos de 1991, 2003 e 2010, obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e compostas por sete bandas espectrais.

O período correspondente à passagem do satélite para a captação das imagens que foram utilizadas no estudo encontra-se especificado na tabela 1, tendo como critério de seleção das imagens a ausência de nebulosidade, que contribui para o aumento da radiação difusa alterando o índice de reflectância.

Tabela 1. Especificação do período das imagens utilizadas.

Ponto	Órbita	Data	Tempo Central (GMT)	Hora Local
67	222	10/09/1991	12:43:09	09:43:09
67	222	11/09/2003	12:56:44	09:56:44
67	222	14/09/2010	13:09:30	10:09:30

Fonte: INPE, 2012.

Foram utilizadas as sete bandas espectrais de cada uma das três imagens, que passaram pelo processo de empilhamento e, posteriormente, pelo recorte por meio do software *ERDAS Imagine 9.2*, resultando em um retângulo com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 48° 24' 56" Oeste e latitude 10° 04' 59" Sul), canto inferior direito (longitude 48° 14' 58" Oeste e latitude 10° 25' 01" Sul) referente à cidade de Palmas-TO, área de interesse do estudo, assim como mostra a figura 1.

2.3 Processamento das imagens

As imagens selecionadas foram processadas por meio do programa *ERDAS Imagine 9.2* e, para transformação dos níveis de cinza das bandas termais em temperatura aparente da superfície, bem como aplicação dos índices escolhidos, empregou-se o Algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – SEBAL desenvolvido por Bastiaanssen [13]. A utilização do algoritmo ocorreu por meio da ferramenta *Model Maker* do programa *ERDAS Imagine 9.2*.

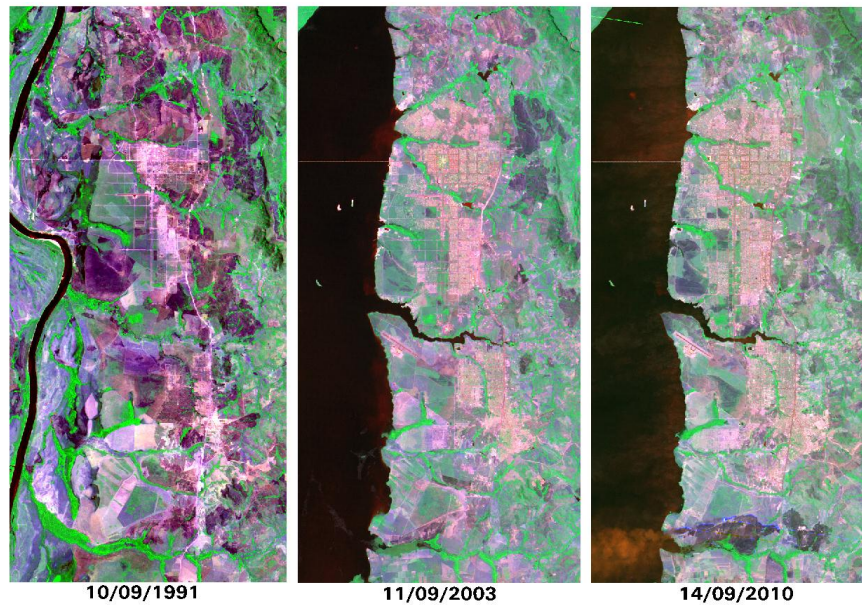


Figura 1. Recortes da área de estudo das imagens do satélite TM Landsat 5, composição colorida (5R4G3B).

Assim, para a determinação da temperatura aparente da superfície na área de estudo, empregou-se a mesma metodologia proposta por Silva et al [14] e Bastiaanssen et al [15, 16], conforme as etapas a seguir.

2.3.1 Calibração radiométrica

Consiste no cômputo da radiação espectral em cada banda (L_{λ_i}), em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem foi convertido em radiância espectral monocromática. A equação utilizada é a mesma proposta por Markham e Barker [17]:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Em que a e b correspondem às radiâncias espectrais mínima e máxima ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7) do satélite Landsat 5. Os coeficientes de calibração utilizados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do satélite Landsat 5 com os coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Coeficiente de Calibração ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiancia espectral no topo da atmosfera ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	a	b	
Banda 1 (azul)	-1.500	152.100	1957
Banda 2 (verde)	-2.800	296.800	1829
Banda 3 (vermelho)	-1.200	204.300	1557
Banda 4 (IV- próximo)	-1.500	206.200	1047
Banda 5 (IV - médio)	-0.370	27.190	219,3
Banda 6 (IV - termal)	1.238	15.600	-
Banda 7 (IV - médio)	-0,150	14.380	74,52

Fonte: SILVA, 2005.

2.3.2 Reflectância

É definida como a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente [18], foi obtida por:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos z \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que: L_{λ_i} corresponde à radiância espectral de cada banda, K_{λ_i} é a irradiancia solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$, ver tabela 2), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano para cada imagem analisada.

2.3.3 Albedo planetário

O albedo não corrigido foi obtido por meio da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, dado pela seguinte equação:

$$\alpha_{toa} = 0,293_{\rho_1} + 0,274_{\rho_2} + 0,233_{\rho_3} + 0,157_{\rho_4} + 0,033_{\rho_5} + 0,011_{\rho_7} \quad (3)$$

2.3.4 Transmissividade atmosférica

Segundo Allen et al [18], em condições de céu claro, a transmissividade pode ser obtida por:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5}.Z \quad (4)$$

Em que Z corresponde à altitude de cada pixel (m).

2.3.5 Albedo da superfície (α)

O albedo à superfície corresponde ao albedo corrigido dos efeitos atmosféricos:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Em que α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04, mas segundo Bastiaanssen [19], o valor mais recomendado para o SEBAL é o de 0,03. A τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel [18].

2.3.6 NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) foi obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V), e a soma das mesmas [20]:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (6)$$

Em que ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM. O NDVI atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1. Para superfícies com alguma vegetação, o NDVI varia entre 0 e 1; já para a água e nuvens o NDVI, geralmente, é menor que zero, pelo fato da ausência de atividades fotossintéticas.

2.3.7 SAVI

É o Índice de Vegetação Ajustado por Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) introduzindo um fator no NDVI para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do NDVI dentro de -1 a +1, segundo Huete [21]. Esse índice foi calculado pela equação:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV}-\rho_V)}{L+\rho_{IV}+\rho_V} \quad (7)$$

Onde ρ_{IV} corresponde à banda do infravermelho próximo e ρ_V corresponde à banda do vermelho, onde adotou-se o valor de $L = 0,5$, segundo Silva et al [14].

2.3.8 IAF

O Índice de Área Foliar será definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área a ser utilizada por essa vegetação. Este índice é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem, sendo calculado pela equação empírica proposta por Allen et al [18]:

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69-SA VI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

2.3.9 Emissividade

Para a obtenção da temperatura da superfície, será utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, será necessário introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB} , qual seja: $10,4 - 12,5 \mu\text{m}$. Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, deverá ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ε_0 ($5 - 100 \mu\text{m}$). Segundo Allen et al [18], as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, por meio das seguintes equações:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \quad IAF \quad (9)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (10)$$

Para pixels com $\text{IAF} \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água ($\text{NDVI} < 0$), no caso do lago de Sobradinho e do leito do Rio São Francisco, Silva e Cândido [8] utilizaram os valores de $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, conforme Allen et al [18].

2.3.10 Temperatura da superfície

Para a obtenção da temperatura aparente da superfície (T_s) foram utilizadas a radiação espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Logo, a temperatura da superfície (K) foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (11)$$

2.3.11 Análise comparativa da temperatura da superfície

A análise comparativa entre as temperaturas aparentes da superfície das áreas dentro do perímetro urbano, relacionando a área urbana e a área rural da cidade de Palmas-TO, ocorreu mediante a reamostragem da imagem.

3 Resultados e discussão

A figura 2 representa a imagem termal da Temperatura de Superfície (TS) na área do Plano Diretor de Palmas - TO, para os dias 10, 11 e 14 de setembro, dos anos de 1991, 2003 e 2010, respectivamente. Os valores de TS foram divididos em seis escalas de cores limitados entre 25 e 40°C, a saber: azul escuro ($\leq 25^\circ\text{C}$), azul ciano (25-27°C), verde (28-30°C), amarelo (31-33°C), laranja (34-36°C), vermelho (37-39°C) e preto ($\geq 40^\circ\text{C}$).

Na cena de 1991 verifica-se a predominância das tonalidades laranja (34-36°C) e amarela (31-33°C) (Figura 2A), que representam 39,75% (264,85 km²) e 34,30% (228,52 km²) da área total de estudo, respectivamente. Já as áreas com tonalidade vermelha (37-39°C), representam pouco mais de 11,50% da área ($\approx 76,60 \text{ km}^2$) e se distribuíram de forma quase linear na direção norte-sul. Já as áreas com tonalidades

verde (28-30°C) representam pouco mais de 10% da área total de estudo ($\approx 70 \text{ km}^2$), e se apresentaram de forma quase marginal em torno das áreas vermelhas e no perímetro rural. Essa elevada concentração de TS acima de 37,0°C pode estar relacionada à grande concentração de áreas com solo exposto pois, nesse período, ainda ocorria o processo de implantação do Plano Diretor de Palmas, que consistiu na substituição de vegetação típica de Cerrado por ruas e avenidas [10].

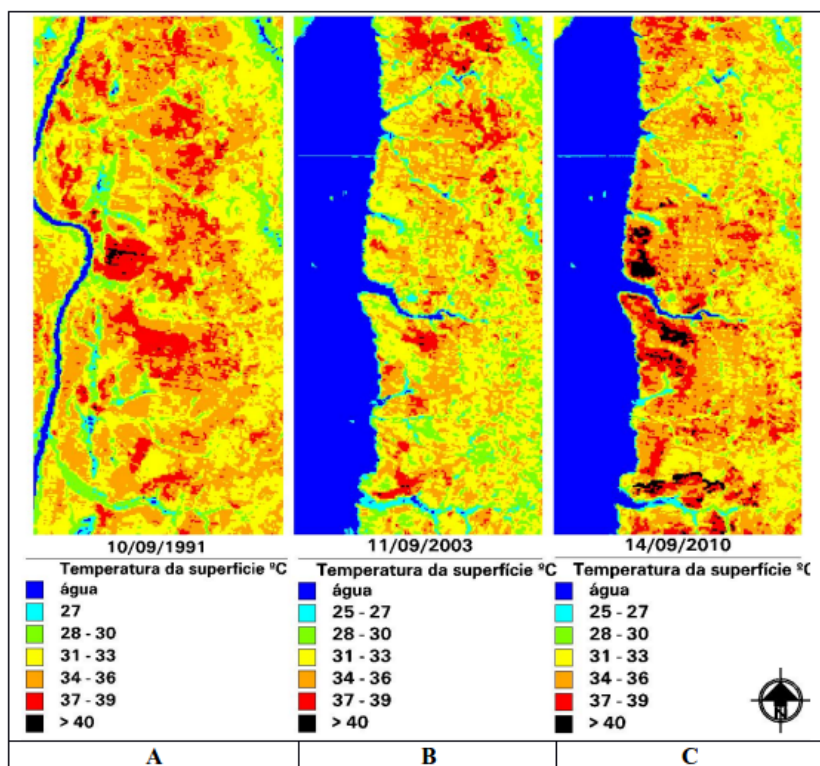


Figura 2. Temperatura aparente da superfície para o Plano Diretor de Palmas.

Em 2003 predominaram áreas nas tonalidades amarela (31-33°C), equivalente a 28,8% da área total de estudo ($\approx 192,46 \text{ km}^2$) e laranja (34-36°C), com 19,6% ($\approx 130,77 \text{ km}^2$), seguido pelas áreas em tonalidade vermelha (37-39°C) que representaram 4,98% da área total de estudo ($\approx 33,21 \text{ km}^2$). Já as áreas em tonalidade verde (28-30°C), representam 11,78% ($\approx 78,50 \text{ km}^2$). Nota-se que, as maiores temperaturas (laranja e vermelho) foram observadas mais a norte do Plano Diretor. Por outro

lado, as de tonalidade verde se apresentam com mais frequência nas regiões periféricas do perímetro urbano, bem como no perímetro rural. A diminuição das áreas com temperaturas acima de 37°C, identificada nessa cena, pode ter sido ocasionada pela redução de áreas com solo exposto e implantação de áreas verdes, com praças e jardins, que enriqueceram a arborização da cidade.

No ano de 2010 prevaleceram áreas em tonalidade laranja (34-36°C), que correspondem a 28,64% da área total de estudo ($\approx 190,84 \text{ km}^2$) e a amarela (31-33°C) com 22,85% ($\approx 152,27 \text{ km}^2$). As áreas em tonalidade vermelha (37-39°C) correspondem a 8,71% da área total de estudo ($\approx 58,00 \text{ km}^2$). Já as áreas em tonalidade verde (28-30°C) apresentaram um percentual de 5,03% ($\approx 33,51 \text{ km}^2$), e se concentraram mais a norte do Plano Diretor. Nesse ano, as temperaturas laranja e vermelho predominaram por todos os perímetros do Plano Diretor. Também se identificou que as menores temperaturas (verde) foram menos frequentes e se concentraram a nordeste do Plano Diretor. As temperaturas mais intensas, observadas nesse ano, podem estar relacionadas a um período de estiagem mais longo, já que o mês de setembro, nessa região, caracteriza-se como um período de transição entre a estação chuvosa e a estação seca, acarretando aumento da ocorrência de queimadas, temperaturas elevadas e baixa umidade de ar. Pode-se observar, também, a ocorrência da expansão do Plano Diretor e a maior modificação na cobertura do solo no entorno do lago.

As áreas com menores temperaturas, no intervalo que varia entre 28 e 30°C, são observadas apenas nas regiões mais afastadas da parte Central do Plano Diretor de Palmas, o que pode ser ocasionado pelo fato de essas áreas apresentarem grande concentração de vegetação, fator biótico capaz de utilizar parte da energia absorvida para realizar processos como a fotossíntese e a evapotranspiração.

De acordo com Robinette [22] e Mascaró [23], a diferença na temperatura da superfície, entre uma área arborizada e uma área sem vegetação, totalmente exposta à radiação solar, é de 3°C a 4°C. Os corpos hídricos também funcionam como locais de amenização das ilhas de calor, levando em consideração que não refletem a energia recebida na faixa do infravermelho e apresenta baixa reflectância (no máximo 5% na faixa do azul) na região do visível. Além disso, os ventos que circulam, nessas áreas hídricas, resfriam o ar e o transmitem para as áreas circunvizinhas.

Tabela 3. Tamanho (km^2) e porcentagem da área de acordo com os intervalos da temperatura aparente da superfície (TS).

TS (°C)	10/09/1991		11/09/2003		14/09/2010	
	Área					
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
< 28	25,33	3,80	230,69	34,62	221,58	33,26
28 – 30	69,71	10,46	78,50	11,78	33,51	5,03
31 – 33	228,52	34,30	192,46	28,88	152,27	22,85
34 – 36	264,85	39,75	130,77	19,63	190,84	28,64
37 – 39	76,60	11,50	33,21	4,98	58,00	8,71
> 40	1,28	0,19	0,67	0,10	10,09	1,52

Verificou-se a amplitude térmica das TS entre a área urbana e a área rural de aproximadamente 11,0°C e, dentro da própria área urbana, identificou-se diferença de 5,0°C entre alguns bairros. Valores próximos foram encontrados por Coltri [5] que, ao analisar a TS de Piracicaba-SP, encontrou uma diferença de 9,2°C entre a temperatura rural e a urbana, e Nascimento e Barros [24] que verificaram uma diferença de aproximadamente 10°C no município de Goiânia-GO. Esse resultado, associado ao estudo de outras variáveis climáticas, pode definir com maior precisão quanto à ocorrência de ilhas de calor.

Segundo Teza e Baptista [25], essas características da superfície, como: solo exposto, poucas vegetação, adensamento construtivo, telhado de cimento e asfalto, é o que favorece a formação nas IC das cidades, pois essas características têm alta refletância, o que contribui para aumento significativo da irradiação de calor para a atmosfera, além de influenciar o balanço de energia da área, tendo como resposta o aumento da temperatura da superfície [26].

Nas imagens termais dos anos analisados, pode verificar-se um padrão: conforme se distancia da área central da cidade, a temperatura diminui gradativamente e volta a aumentar à medida que se aproxima do centro. Essa condição observada se deve ao fato de as áreas mais afastada da região central apresentarem maior quantidade de área verde as quais, por sua vez, em seu processo de evapotranspiração, liberam vapor d'água em seus arredores, aumentando a umidade relativa e diminuindo a temperatura do ar. Por outro lado, nas áreas centrais, verifica-se grande quantidade de materiais de

construção civil e pouca ou nenhuma área verde, o que aumenta a temperatura local.

4 Conclusões

Pela análise da imagem termal da temperatura de superfície para a cidade de Palmas-TO, pode-se concluir que

1. O estudo é um indicativo de que, ao longo desses anos, ocorreu o aumento da temperatura da superfície na região, sendo 2010 o ano de temperaturas mais intensas, concentrando-se na faixa de 31-36°C e apresentando maior significância em valores acima de 40°C.
2. A tendência para a região é de que o crescimento populacional e a urbanização continuem evoluindo, o que pode influenciar na intensificação da temperatura de superfície devido às constantes alterações no uso e ocupação do solo, sendo necessária a realização de estudos climáticos que realizem o monitoramento das condições do meio e ofereça suporte à constituição de políticas públicas que permitam o planejamento e a implantação das medidas cabíveis.

Referências

- [1] MENDONÇA, F. A. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. In: MONTEIRO, C. A. F. e MENDONÇA, F. et al.. Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003. Cap 03, pp.93 – 120.
- [2] MONTEIRO, F. A. Teoria e clima urbano. São Paulo: IGEO/USP, 1976. 186p.
- [3] BARRY, G. R.; CHORLEY, R.G. Atmosfera, tempo e clima. Porto Alegre: Bookman, 2013, 9 ed, 512p.
- [4] ARAÚJO, T. L. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LANDSAT. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

- [5] COLTRI, P. P. Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise se séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2006.
- [6] MACIEL, C. R. Análise da relação entre características do ambiente urbano e o comportamento de variáveis microclimáticas: estudo de caso em Cuiabá-MT. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.
- [7] EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisland>> Acesso em: Abr/2012.
- [8] SILVA, B. B., CÂNDIDO, M. V. Determinação da evapotranspiração em escala regional por meio do Sebal e imagens Landsat 5 – TM, *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Fortaleza, 2004.
- [9] WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogram Eng Rem S*, v. 69, n. 5, p. 555-566, 2003.
- [10] PAZ, L. H. F. A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- [11] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: Abr/2012.
- [12] SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Disponível em: <<http://www.seplan.to.gov.br/seplan/br/download/14%20-%20Palmas.pdf>>. Acesso em: Set/2012.
- [13] BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995.
- [14] SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação em áreas

irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. *Rev Bras Meteorol*, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

- [15] BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M.A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. *J Hydrol*, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- [16] BASTIAANSEN, W.G.M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MORENO, Y.M.J.; ROERINK, G.J.; VAN DER WAL, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *J Hydrol*, v. 212-213: p. 213-229, 1998.
- [17] MARKHAM, B.L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *Int Remote Sens*, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- [18] ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual - Idaho Implementation, version 1.0, 2002. 97 p.
- [19] BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual - Idaho Implementation, version 1.0, 2002. 97 p.
- [20] ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Greenbelt, MD. *Prog Rep RSC 1978-1*. 371 p. 1977.
- [21] HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. *Int Agrophysics*, v.4, n.4, p.367-376, 1988.
- [22] ROBINETTE, G. O. Plants and their environmental functions. Washington DC. Department of the Interior, National Park Service, 1972, 141 p.
- [23] MASCARÓ, L. *Ambiência Urbana*. Porto Alegre: Sagra - D. C. Luzzatto, 1996, 199p.

- [24] NASCIMENTO, D. T. F.; BARROS, J. R. Identificação de ilhas de calor por meio do sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia-GO/2011. *Bol Goiano Geografia*, v. 29, n. 1, p. 119 – 134, 2009.
- [25] TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08-Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. *Anais XII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Goiânia, p.3911-3918, 2005.
- [26] SERRATO, F. B.; CASTILLO, F. J. G.; GARCIA, R.G.; VALCARCEL, E. C. Radiación y temperatura em el período 1990-1999 en el campo experimental de “Elardal” Murcia: studio preliminar. *Papeles Geografia*, v.35, p.17-25, 2002.