

## **Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias**

*Analysis of surface temperature at Tocantins's state using geotechnology*

**Érika Gonçalves Pires<sup>1</sup>**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)

[erikapires@ifto.edu.br](mailto:erikapires@ifto.edu.br)

**RESUMO:** Atualmente o homem vem provocando alterações no clima, por meio das transformações da natureza, na ocupação e modelagem do espaço. Em virtude disso, é importante a realização de estudos que analise as variações da temperatura no planeta. Nesse sentido, este presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície (TST) no estado do Tocantins, a partir do uso de geotecnologias, com intuito de entender o comportamento da temperatura nessa região. A temperatura de superfície foi estimada a partir das imagens termais do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). As imagens TST obtidas a partir do sensor MODIS, permitiu visualizar a distribuição espacial e sazonal da temperatura no estado do Tocantins, no período de 2000 a 2014. No mês de abril, grande parte da distribuição espacial das temperaturas ficaram na faixa de 26 a 32°C, enquanto que em agosto, as temperaturas mais altas ficaram em torno de 48°C, sendo que espacialmente prevaleceram temperaturas entre 36°C e 40°C. Portanto, observa-se que houve um aumento de 8 a 10°C da TST em uma grande parte do estado, de um período para o outro, com picos de temperatura na estação seca superiores a 40°C, em todos os anos analisados.

**Palavras-Chave:** Temperatura de Superfície, Sensor Termal, Tocantins.

**ABSTRACT:** The human is currently causing changes in climate through the transformation of nature, occupation and modeling space. Due to this, it is important to conduct studies to analyze the variations of temperature on the planet. In this direction, the study aims to analyze the Land Surface Temperature (LST) at Tocantins state, from using geotechnology, in order to understand the behavior of temperature in this region. The surface temperature was estimated from the thermal images of sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). The LST images allowed the visualization of the spatial and seasonal distribution of temperature in state of Tocantins, from 2000 to 2014. In April, much of the spatial distribution of temperatures were in the range of 26 to 32°C, while in August, the highest temperatures were around 48°C, with temperatures

<sup>1</sup> Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, IFTO-Campus Palmas. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia na Universidade Federal de Goiás – PPGEO/IESA/UFG.

between 36°C to 40°C. Therefore, it is observed there was an increase of 8 to 10 °C in a large part of the state, from one period to another, with peak temperatures in the dry season of more than 40°C, in all the years analyzed.

**Key-words:** Surface temperature, Thermal Sensor, Tocantins.

## 1. INTRODUÇÃO

As pesquisas apontam que nos últimos anos vem ocorrendo grandes alterações no regime de chuva e um aumento na temperatura em várias regiões da superfície terrestre, além do aumento da temperatura dos oceanos. Essas alterações podem ter sido causadas por processos de ordem natural e principalmente pelas atividades antrópicas, ou ainda pela combinação dos dois processos (IPPC, 2014).

Uma variável importante de ser analisada nesse processo é a temperatura de superfície terrestre, uma vez que a mesma evidencia os processos de dependência da interface solo/atmosfera e atua sobre os climas locais, haja vista que as variações térmicas na superfície pode contribuir com a aceleração do processo de evaporação, alterando o estado físico da água e aumentando a quantidade de vapor enviado a atmosfera (RICKLEFS, 1996).

Atualmente uma das formas de se obter a temperatura de superfície é através de imagens de sensores a bordo de satélites, pois além de favorecer visões de diferentes escalas e tempo, permite a transformação de dados do infravermelho termal em temperaturas aparente da superfície. Essas medidas são realizadas com sensores que detectam radiação termal (3-5 e 8-14µm) emitida pela camada milimétrica (0,1mm) da superfície da água. Portanto, uma das vantagens do uso de dados térmicos satelitários, é a possibilidade de obtenção de uma ampla rede de dados de temperatura de amplas áreas sobre a superfície terrestre, em um curto espaço de tempo, além de permitir o monitoramento e estudo multitemporal das mesmas.

Vários estudos vêm sendo realizado com o intuito de monitorar a temperatura de superfície terrestre a partir do uso de geotecnologias.

Alcântara e Stech (2011) realizaram o monitoramento da temperatura e fluxos de calor na superfície da água do reservatório hidrelétrico de Itumbiara-GO utilizando imagens de satélite de resolução moderada, as quais permitiram a estimativa do campo de temperatura de 2003 a 2008 durante o dia e durante a noite. Os resultados mostraram o potencial do uso de

imagens de satélite no estudo das variações da temperatura de superfície e, principalmente, na explicação de tais variações.

Caselles e Sobrino (1989) estimaram a temperatura da superfície com base no conhecimento prévio do arranjo espacial e da emissividade de componentes de pomares de laranja. Lopes e Rizzi (2007) determinaram o comportamento sazonal da emissividade da superfície terrestre em regiões montanhosas a partir de dados do sensor MODIS.

Ataíde (2006) utilizou produtos do sensor MODIS para estimar, não somente o saldo de radiação e a radiação global em superfície no instante da passagem do satélite, mas também a distribuição temporal e espacial sobre grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro, e apresentaram resultados instantâneos aceitáveis durante o período de estiagem, na maioria das estações estudadas.

Gusmão et al. (2009) estudaram a variação da temperatura da superfície da água a partir de imagens do sensor AVHRR/NOAA no reservatório de Sobradinho-BA, e concluíram que a utilização das imagens de satélite com resolução espacial moderada e alta resolução temporal apresentaram de grande importância e adequadas para monitorar variações de temperatura ao longo de extensos corpos d'água.

Souza e Ferreira (2012), analisaram o padrão de distribuição espacial da temperatura de superfície terrestre (TST) no município de Goiânia para os anos de 2002 e 2011, utilizando dados dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites 5 e 7 da série Landsat. O método usado para estimar a TST foi avaliado e validado através da comparação entre a imagem termal produzida por meio da banda 6 ETM+ e o Produto MOD11A1, o qual apresentou boa correlação.

Correa et al. (2012) analisaram a temperatura de superfície em áreas urbanas através de imagens de satélite de média resolução espacial, e concluíram que as imagens termais mostraram-se como uma boa ferramenta para estimativa das temperaturas na área urbana de Santarém-PA, permitindo assim identificar as áreas com maiores temperaturas.

Salienta-se que apesar da existência de estudos relacionados a temperatura de superfície, ainda há uma carência de estudos dessa natureza no bioma Cerrado, principalmente na região norte do país, como é o caso do estado do Tocantins.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da temperatura de superfície (TST) no estado do Tocantins, a partir do uso de geotecnologias, com intuito de entender o comportamento da temperatura nessa região, e

servir de subsídio para futuros planejamentos, gestão e administração da ocupação ordenada e racional da área.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o estado do Tocantins, localizado a sudeste da região norte do país, confrontando com os estados do Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Goiás e Mato Grosso, Figura 1. O estado ocupa uma área de 277.620 km<sup>2</sup>, o equivale a 3,2% do território nacional e 7,2% da região norte. O Tocantins possui 139 municípios, divididos em 2 mesorregiões e 08 microrregiões geográficas, e tem uma população de mais de 1.500.000 hab (IBGE 2015).

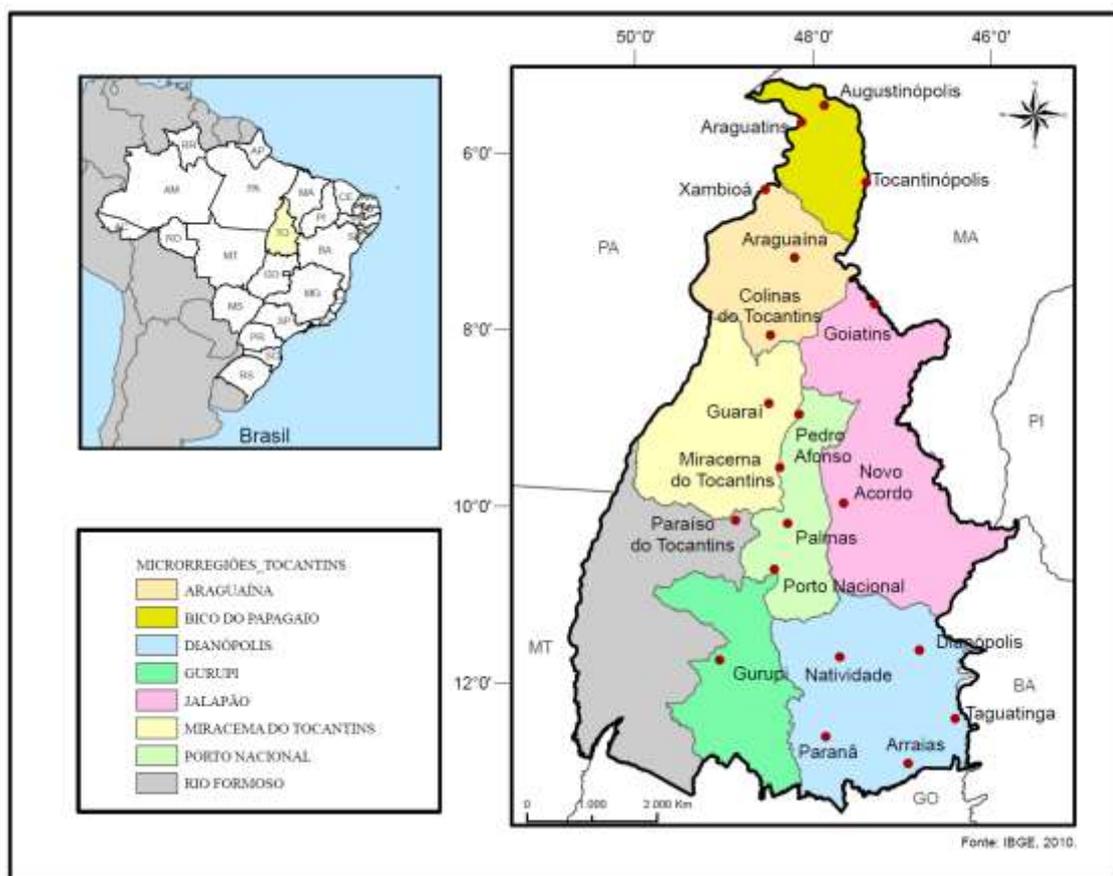


Figura 1: Mapa das microrregiões e principais cidades do estado do Tocantins.

O Tocantins localiza em uma zona de transição da floresta amazônica e o Cerrado, sendo que 91% do estado está inserido no Bioma Cerrado (MMA, 2008). Está inserido na região da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, banhado a oeste pelo Rio Araguaia e ao centro pelo Rio Tocantins, que se unem na parte setentrional da região, até desaguar na Baía da Ilha de Marajó (ANA, 2009).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima predominante nessa região é tropical com estação seca (Aw) e apresenta algumas regiões com clima tropical úmido (Am). A distribuição sazonal das precipitações pluviais está bem caracterizada com dois períodos bem definidos: a estação chuvosa de outubro a abril e a estação seca nos meses de maio a setembro.

A temperatura de superfície terrestre (TST) foi estimada a partir das imagens termais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). O sensor MODIS, a bordo dos satélites TERRA e AQUA, com resolução temporal de 1-2 dias, possui 36 bandas espectrais em diferentes regiões do espectro eletromagnético, incluindo a faixa do infravermelho termal (bandas 31 e 32). Dentre os vários produtos do sensor MODIS, o produto MOD11 – LST (*Land Surface Temperature*), utiliza o algoritmo LST para o cálculo da temperatura de superfície, com os dados já georreferenciados e corrigidos para efeitos da atmosfera. Cabe ressaltar que o MODIS é um dos sensores termais que apresentam uma melhor resolução radiométrica (12 bits), possuindo um corpo negro interno para calibração das temperaturas (XIONG et al., 2014).

Para este trabalho, foram utilizados os dados do produto MOD11A2 (Coleção 5), com resolução espacial de 1km. De acordo com Wan et al. (2004), o produto MOD11A2 possui uma acurácia de aproximadamente 1°C no limite de variação de -10 a 50°C. Os dados de temperatura são tomados durante o dia (~10h30min) e noite (~23h30min). O produto MOD11A2 foi escolhido com intuito de minimizar a ocorrência de pixels com ausência de informações, além de facilitar a análise das informações, haja vista a ampla série temporal de dados.

Foram adquiridas no site da NASA- *National Aeronautics and Space Administration* (<http://reverb.echo.nasa.gov/>), as imagens TST que recobriam todo o estado do Tocantins (Tiles H13V9 e H13V10 – Figura 2), para o período de 2000 a 2014, correspondendo a uma série temporal de 15 anos de dados.

As imagens foram reprojctadas (sinusoidal → geográfica) e mosaicadas, no software MRT - MODIS Reproject Tools, obtendo as imagens TST\_Day e QC\_Day. As imagens foram reescaladas e convertidas em valores de temperatura de superfície (Celsius), através equação 1:

$$\text{TST} = (\text{DN} \times \text{F}) - 273,15 \quad (1)$$

Onde:

TST: Temperatura em graus Celsius

DN: Digital number ou valor original do pixel

F: Fator de conversão (0,02)

Em virtude das imagens de satélites sofrerem interferências atmosféricas e meteorológicas, as imagens TST foram filtradas com base nos dados de controle de qualidade (Quality Control - QC), obtendo imagens com pixels de boa qualidade de observação. Salienta-se que cada imagem TST, possui um dado QC, onde cada pixel na imagem apresenta um valor de qualidade dos dados.

As imagens de temperatura de superfície foram classificadas em função dos valores de TST e aplicada uma escala cromática de cores às imagens resultantes, com o intuito de melhor identificar a variação da temperatura nas mesmas.

Após efetuado o processamento dos dados de temperatura de superfície (TST) do sensor MODIS, para o período de 2000 a 2014, foi realizada uma análise sazonal dos dados para os meses de abril (período chuvoso) e agosto (período seco), visando observar com se comporta a temperatura nessa região.

Com o intuito de correlacionar a temperatura de superfície com outros parâmetros, também foram processados os dados de precipitação obtidos do sensor TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens de temperatura de superfície (TST) evidenciam uma grande variação da temperatura nos meses de abril e agosto durante o período analisado. As Figuras 2 e 3 mostram a variação da temperatura de superfície para o estado Tocantins, nos meses de abril e agosto, dos anos de 2000 a 2014. Os valores de TST foram divididos em escalas de cores para

facilitar a análise, apresentando as seguintes tonalidades: azul escuro (18 a 22°C), azul médio (22 a 26°C), verde (26 a 30°C), amarelo escuro (30 a 32°C), amarelo claro (32 a 34°C), alaranjado (34 a 36°C), vermelho claro (36 a 38°C), vermelho (38 a 40°C) e vermelho escuro (>40°C). As regiões brancas representam ausência de dados. Salienta-se que os dados dos anos de 2006 e 2009 apresentaram problemas técnicos, e portanto não serão utilizados nas análises dos dados.

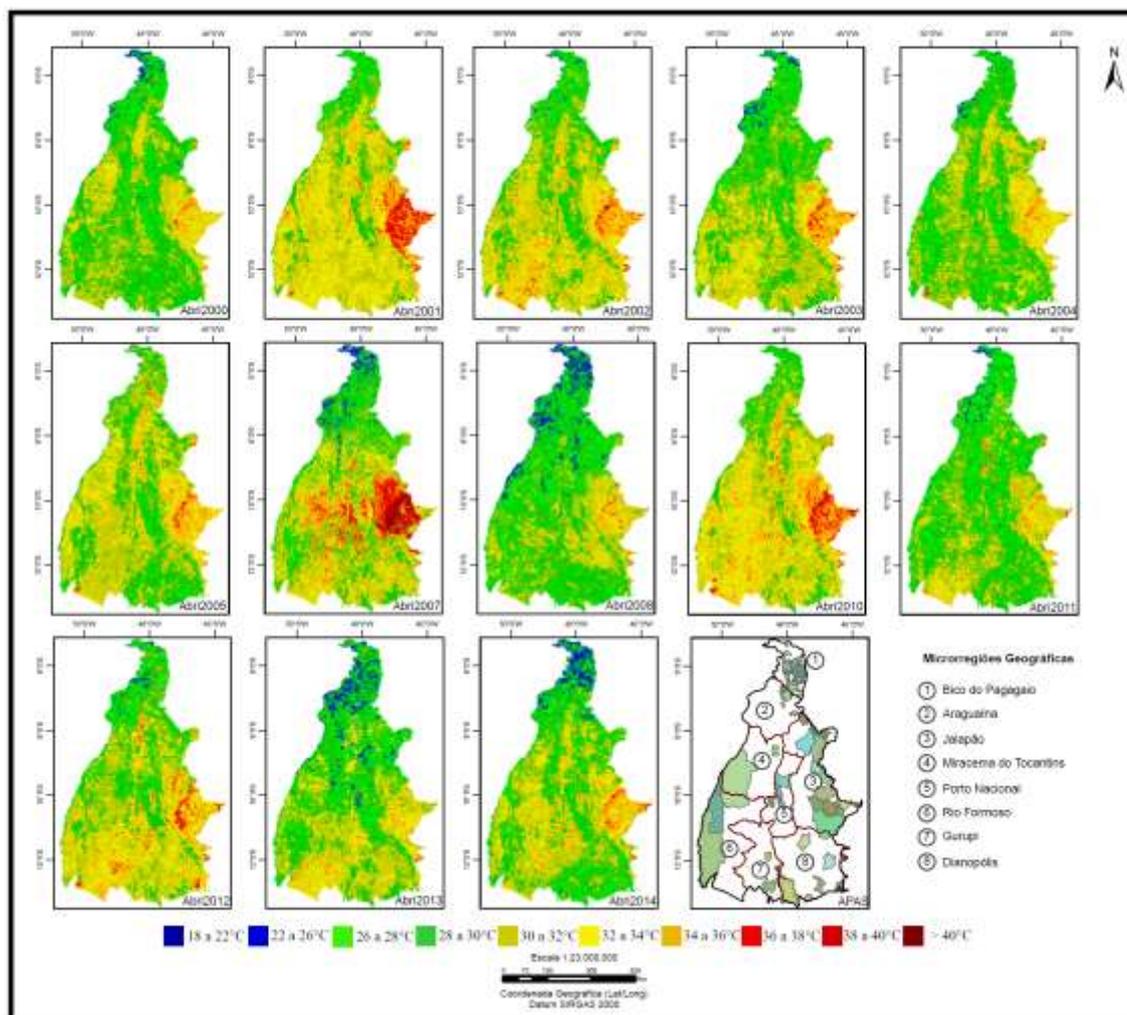


Figura 2: Mapa da temperatura de superfície do estado do Tocantins para o mês de abril de 2000 a 2014.

Analisando as imagens de TST (Figuras 2 e 3), observa-se que, de modo geral, as imagens do mês de abril apresentaram menores valores de TST em relação ao mês de agosto. As imagens TST de abril apresentaram predominância das tonalidades verde e amarelo (26 a

34°C), apresentando valores de TST mais baixas. As imagens TST de agosto apresentaram predominância de tonalidades vermelhas (36 a >40°C), com valores de TST mais elevados.

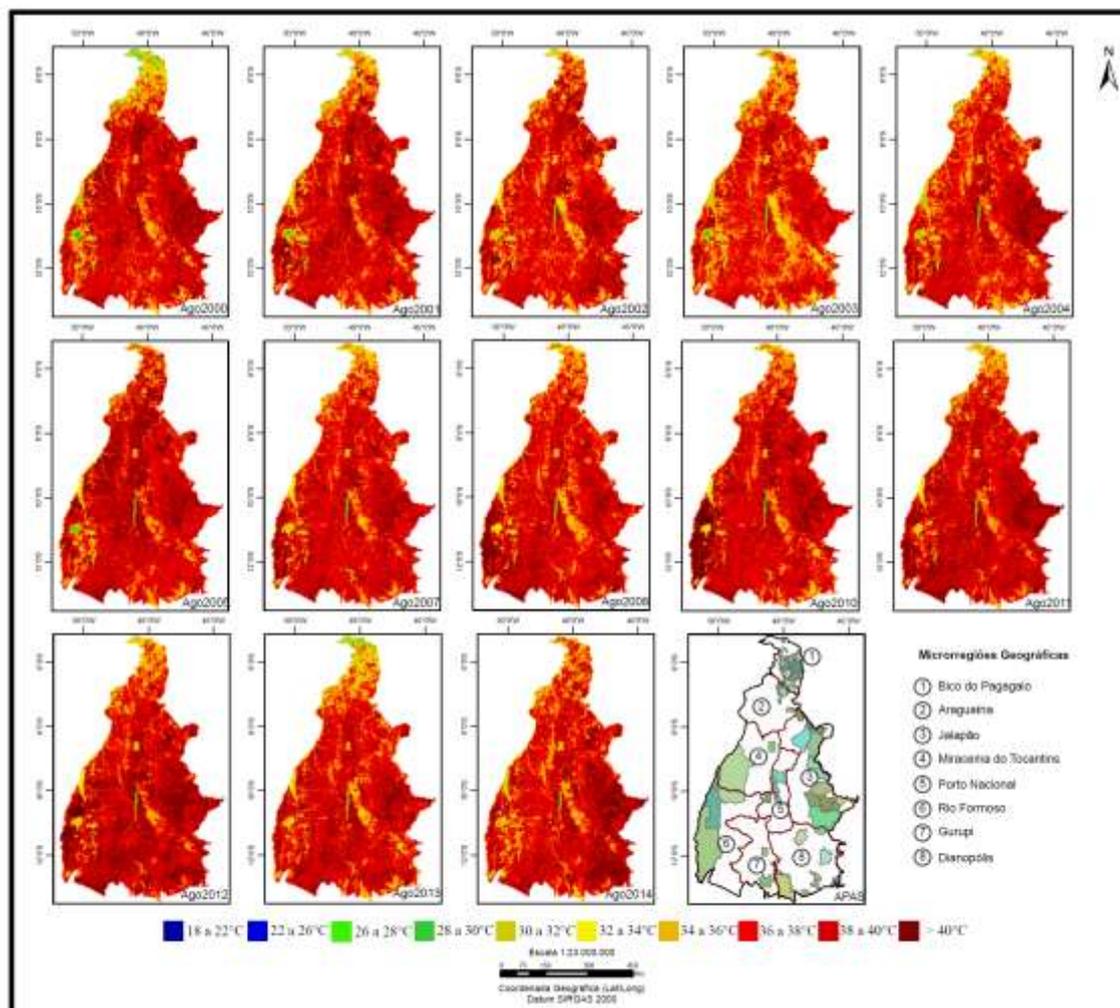


Figura 3: Mapa da temperatura de superfície do estado do Tocantins para o mês de agosto de 2000 a 2014.

Comparando as imagens TST do mês de abril, observa-se que as menores temperaturas foram registradas na microrregião do bico do papagaio (cor azul), principalmente nos meses de abril 2007 e 2013, apresentando temperaturas, com valores de 18°C e 19,1°C, respectivamente (Tabela 1). Em contrapartida, as maiores temperaturas foram registradas na microrregião do Jalapão, que apresentaram os maiores valores de temperatura nos meses de abril de 2007 e 2012, entretanto também foram registradas mais temperaturas elevadas nos meses de abril de 2001 e 2010.

A microrregião de Porto Nacional, apresentou as maiores temperaturas em abril 2007 e 2010, sendo que estas foram registradas nas áreas urbanas de Palmas e Porto Nacional. Observa-se também que nas regiões onde há a presença de vegetação não houve grandes variações de temperaturas, como é o caso da região do parque estadual do Lajeado (centro da microrregião), apresentando valores de TST de 26 a 30°C. Isto também ocorreu na APA da Ilha do Bananal/Cantão, localizada na divisa das microrregiões de Miracema do Tocantins e Rio Formoso.

No mês de agosto, as menores temperaturas também foram registradas na microrregião do bico do papagaio (tons amarelados), nos meses de agosto 2007, 2011 e 2012, apresentando temperaturas variando de 26 a 30°C. Observa-se também que as regiões com a presença de corpos hídricos ou áreas alagadas, apresentaram temperaturas em torno de 26°C, como é o caso do Lago da UHE de Lajeado e das áreas na região sul do estado, próximas ao Rio Tocantins. As microrregiões de Araguaína e Jalapão foram as que apresentaram maiores valores de temperatura, com valores acima de 40°C, destacando-se os meses de agosto 2010 e 2013.

Tabela 1. Dados estatísticos de temperatura de superfície para os meses de abril e agosto de 2000-2014 para o estado do Tocantins.

Data	Min (°C)	Max (°C)	Média (°C)	Desvio Padrão	Data	Min (°C)	Max (°C)	Média (°C)	Desvio Padrão
Abri2000	22,2	40,3	31,2	5,3	Ago2000	27,1	45,8	36,5	5,5
Abri2001	23,6	41,6	32,6	5,3	Ago2001	26,7	46,6	36,6	5,8
Abri2002	22,7	40,4	31,6	5,2	Ago2002	27,2	45,8	36,5	5,5
Abri2003	22,8	40,6	31,7	5,2	Ago2003	27,4	45,9	36,6	5,4
Abri2004	22,7	39,8	31,2	5,0	Ago2004	27,5	45,8	36,7	5,4
Abri2005	23,2	40,7	31,9	5,1	Ago2005	28,2	46,3	37,3	5,3
Abri2007	19,1	44,0	31,6	7,3	Ago2007	26,6	45,9	36,2	5,7
Abri2008	20,6	39,7	30,2	5,3	Ago2008	27,1	46,4	36,8	5,7
Abri2010	24,2	41,5	32,8	5,1	Ago2010	26,7	48,2	37,4	6,3
Abri2011	22,5	41,0	31,7	5,4	Ago2011	27,9	46,1	37,0	5,3
Abri2012	22,4	42,7	32,5	5,9	Ago2012	26,7	49,7	38,2	6,7
Abri2013	18,0	40,8	29,4	6,7	Ago2013	27,0	45,9	36,4	5,6
Abri2014	22,2	41,5	31,8	5,7	Ago2014	27,4	47,5	37,5	5,9

Analisando os valores de precipitação obtidas do sensor TRMM (Figura 4), observa-se que em abril de 2000 a precipitação média foi em torno de 200mm, enquanto que nos meses de abril de 2001 a 2003 há uma diminuição da precipitação, e conseqüentemente um aumento

dos valores de temperatura, principalmente na região sul do estado. Isso também ocorreu em abril de 2012, quando houve uma diminuição da precipitação em relação a abril de 2011. No mês de agosto, a precipitação apresentou valores próximos entre os anos analisados, com baixos índices pluviométricos.

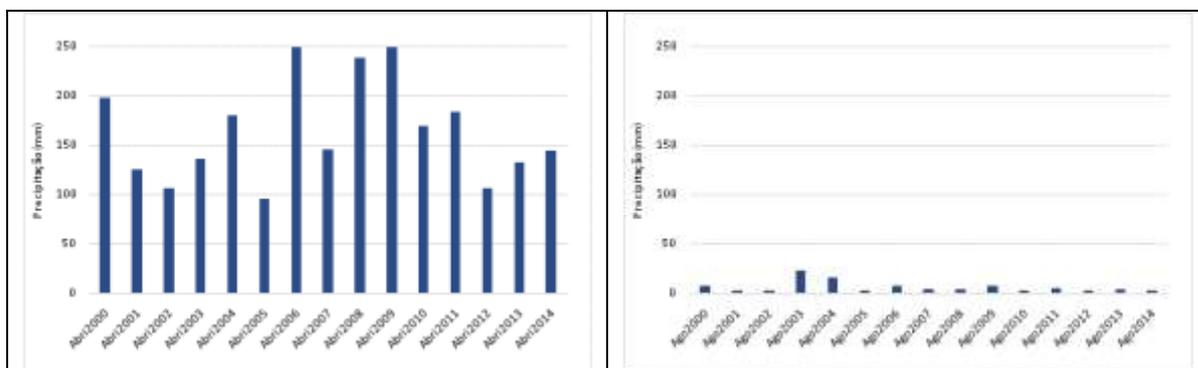


Gráfico 1: Precipitação média para os meses de abril e agosto de 2000 a 2014 para o estado do Tocantins (Sensor TRMM).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens de temperatura de superfície (TST) obtidas a partir do sensor MODIS, permitiu visualizar a distribuição espacial e sazonal da temperatura no estado do Tocantins, no período de 2000 a 2014.

É interessante observar nos dados de temperatura de superfície que, o comportamento sazonal da TST no estado é bastante evidente. Para o mês de abril, embora as temperaturas máximas registradas na região foram em torno de 42°C, especialmente na região predominaram mais temperaturas entre 26 e 32°C. No mês de agosto, as temperaturas mais altas ficaram em torno de 48°C, sendo que especialmente prevaleceram temperaturas entre 36°C e 40°C. O que vemos, então, é um aumento de 8 a 10°C da TST em uma grande parte do estado, de um período para o outro, com picos de temperatura na estação seca superiores a 40°C, em todos os anos analisados.

Os dados obtidos neste estudo permitem afirmar que, na área de estudo, observa-se uma correlação negativa entre a presença de cobertura vegetal e corpos hídricos e a variação da temperatura superficial terrestre, ou seja, quanto maior a presença da vegetação e dos corpos d'água, menor tendem a ser as temperaturas superficiais.

De modo geral, os anos com menor precipitação apresentou regiões com temperaturas menores do que os anos com maior registro de precipitação. Nesse sentido, podemos afirmar que há uma forte correlação entre os dados de precipitação e temperatura.

Salienta-se que os valores de TST geralmente são um pouco mais elevados do que os valores de temperatura do ar, haja vista que a TST refere a temperatura da superfície, enquanto a temperatura do ar geralmente é obtida a 2 metros acima do solo.

Apesar da variabilidade termal da superfície depender do tipo de cobertura existente, que interfere diretamente no suprimento e na troca de energia, e da sazonalidade da região, sabemos que a temperatura de superfície é o resultado de uma combinação complexa de fatores intrínsecos e extrínsecos, os quais resultam, em homogeneização das respostas entre alvos e, conseqüentemente, em elevada dependência espacial. Nesse sentido, é importante a realização de estudos que contemplem mais variáveis, tais como: topografia, tipo de solo, incidência de radiação, precipitação, evapotranspiração, etc.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: relatório síntese** / Agência Nacional de Água. Brasília : ANA; SPR, 2009. 256 p.

ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L. **Desenvolvimento de modelo conceitual termodinâmico para o reservatório hidrelétrico de Itumbiara baseado em dados de satélite e telemétricos**. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 6, n. 2, 2011.

ATAÍDE, K. R. P. LEDO, I. M. D. OLIVEIRA, M. G. R. BEZERRA, W. A. **Avaliação da estimativa da temperatura de superfície obtida pelo sensor MODIS para o estado de Goiás**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3495-3502.

CASELLES, V.; SOBRINO, J.A. **Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data**. Remote Sensing of Environment, v.29, p.135-146, 1989.

CORREA, P. B. CORREA, J. A. J. ANDRADE, S. C. P. **Análise da temperatura de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5**. Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4, p.714 – 722, 2012.

GUSMAO, A. C. V. L.; SILVA, H. P.; MELO, A. L.; SILVA, H. D. B. **Variação da temperatura da superfície da água a partir de imagens do sensor AVHRR/NOAA do reservatório de Sobradinho, Bahia, Brasil**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5251-5258.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Geociências (malha digital dos municípios, microrregiões e mesorregiões/Base 2000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 30/10/2015.

\_\_\_\_\_. Base de dados dos municípios. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 05/04/2014.

\_\_\_\_\_. "Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2015" (PDF). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso em: 29/06/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, adaptations and vulnerability**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>> Acesso em: 30/04/2014.

LOPES, P. M. O; RIZZI, R. **Modelagem da emissividade da superfície terrestre em regiões montanhosas a partir de dados do sensor MODIS**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2797-2804.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mapa da cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasil, 2008. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf) . Acesso em: 02/01/2015.

RICKLEFS, E.R. **A Economia da Natureza**. Tradução: LIMA, C.B.P.L.S. Colaboração: OLIVEIRA, R.R. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 3ª ed., 1996.

SOUSA, S. B.; FERREIRA, L. G. **Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 2011)**. Confins (Paris), v. 15, p. 1-21, 2012.

XIONG, X., B. N. WENNY, A. WU, A. ANGAL, X. GENG, H. CHEN, J. DODD, D. LINK, S. MADHAVAN, N. CHEN, et al., "Status of Terra MODIS operation, calibration, and performance ", Proc. SPIE 9218, Earth Observing Systems XIX, 92180, 2014.

WAN, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; LI, Z. L. **Quality assessment and validation of the global land surface temperature**. International Journal of Remote Sensing, v. 25, p. 261–274, 2004.