

Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8

Érika Gonçalves Pires¹
Laerte Guimarães Ferreira Jr.²

¹ Instituto Federal do Tocantins - IFTO/Coord. de Geomática
AE 310 Sul - 77021-090- Palmas- TO, Brasil
erikapires@ifto.edu.br

^{1,2} Universidade de Federal de Goiás - UFG/IESA-LAPIG
Caixa Postal 131 - 74001-970- Goiânia - GO, Brasil
erikapires@ifto.edu.br; laerte@iesa.ufg.br

Abstract. The thermal sensors can estimate the values of surface temperature of the targets on the Earth's surface. This article purpose to compare the values of surface temperatures obtained from the thermal bands of Landsat 7 and 8, with and without atmospheric correction, in order to evaluate the data obtained by them. TST images without atmospheric correction had lower temperatures than TST images with atmospheric correction and showed temperatures more similar to the air temperature. The thermal Landsat 8 still show calibration problems due to failure of dispersion of diffused light, but the images of both satellites TST presented similar temperatures. TST images Landsat 7 allowed better distinction between the surface temperature of the target image, but because the images have noise on the edges of scenes, their use becomes restricted to the central areas of the image.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, thermal sensor, sensoriamento remoto, processamento de imagens, sensor termal.

1. Introdução

De acordo com Jensen (2009), as informações sobre a temperatura superficial podem ser obtidas por sensoriamento remoto, tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante e para a maioria dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente dos mesmos. Nesse sentido, a temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, sendo de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. A melhor faixa que permite uma maior transmissão da energia emitida da Terra que alcança o sensor na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético é o intervalo de 8,0 a 14,0 μm (STEINKE et al., 2010).

Uma das vantagens do sensoriamento remoto termal, é de proporcionar em tempo-sincronizado uma densa rede de dados de temperatura de áreas sobre a superfície terrestre, além de permitir o monitoramento e o estudo multitemporal das mesmas.

Os satélites Landsat 7 e 8 possui bandas que operam na região do infravermelho termal, e permite estimar valores de temperatura de superfície de alvos sobre a superfície terrestre.

O satélite Landsat 7 foi lançado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), em 15 de abril de 1999, possui uma órbita circular heliosíncrona, e possui 8 bandas espectrais, operando nas faixas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal. A banda termal corresponde a banda 6 que possui intervalo espectral de 10.4 - 12.5 μm e resolução espacial de 60m.

Salienta-se que em maio de 2003 o satélite Landsat 7 apresentou problemas no equipamento eletro-mecânico chamado SLC (*Scan Line Correction*), que compensa o deslocamento do satélite em relação ao movimento de rotação da Terra durante as aquisições das imagens, e portanto, desde então, o satélite produz imagens com vazios e/ ou ruídos principalmente nas bordas das imagens.

Embora as cenas do Landsat 7 possui apenas 78 por cento de seus pixels, essas imagens ainda são um dos dados de satélites civis mais precisos geometricamente e radiometricamente existentes no mundo. Cabe ressaltar que a imagem termal não foi afetada radiometricamente pelo problema do SLC-off (USGS, 2014a).

O satélite Landsat-8 foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013 pela NASA, operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2°. O satélite possui o sensor OLI (*Operational Land Imager*) com 9 bandas espectrais e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal, bandas 10 (10.6 - 11.19 μm) e 11 (11.45 - 12.51 μm), com resolução espacial de 100m.

Cabe ressaltar que as imagens termais do Landsat 8 apresentaram anomalias devido a dispersão da luz difusa que chega ao sensor o que ocasionou problemas de calibração nas imagens do satélite (NASA, 2014).

De acordo com Schott et al (2014), estas anomalias incluem diferenças na aparência radiométrica, variações nos índices de calibração cruzadas entre detectores que se sobrepõem em matrizes adjacentes (resultando em formação de faixas) e os erros de polarização na calibração absoluta. Vários algoritmos foram testados pela USGS (*United States Geological Survey*), e uma correção inicial foi aplicada nas imagens a partir de fevereiro de 2014, entretanto a USGS ainda não recomenda o uso da banda 11 em virtude das anomalias existentes na mesma. A banda 10 do Landsat 8 pode ser utilizada após a calibração através de um modelo de transferência radiativa de emissividade e parâmetros para recuperação da temperatura da superfície, e apresenta um erro de polarização residual inferior a 2 graus para a maioria dos alvos.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo comparar os valores de temperaturas de superfície obtidos a partir das bandas termais dos satélites Landsat 7 e 8, com o intuito de avaliar os dados obtidos pelos mesmos.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende as áreas do entorno do reservatório da UHE de Luís Eduardo de Magalhães, localizada entre os municípios de Palmas-TO e Porto Nacional-TO, conforme ilustrado na Figura 1.

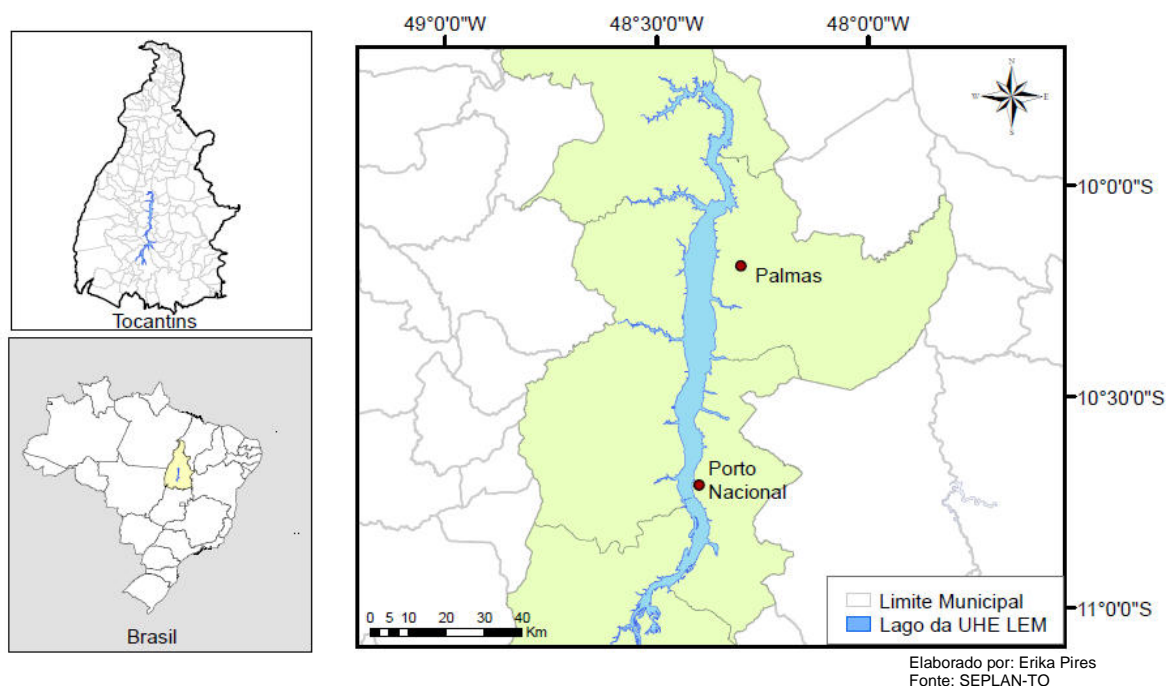


Figura 1. Mapa de localização da Área de Estudo.

O reservatório da UHE de Luís Eduardo de Magalhães está localizado no bioma Cerrado, na região central do estado Tocantins. Possui uma área total de aproximadamente 630 Km², com 170 km de extensão e profundidade média de três metros. O seu enchimento ocorreu em dezembro de 2001 com encerramento em fevereiro de 2002.

A distribuição sazonal das precipitações pluviárias 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.

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima nessa região é tropical úmido com estação seca (Aw), o que contribuiu para as altas temperaturas existentes nessa região. A temperatura média anual na cidade de Palmas, por exemplo, é de aproximadamente 26°C, porém no mês de setembro a temperatura mínima média é de 22°C, enquanto a temperatura máxima média atinge 36°C, e no mês de julho a temperatura mínima média é de 15°C, e a temperatura máxima média é de 33°C (INMET, 2014).

Nesse trabalho foram adquiridas imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8, disponibilizada no site da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Foram selecionadas as imagens com condições meteorológicas semelhantes, e que correspondiam a mesma época do ano.

Foram adquiridas as imagens do satélite Landsat 7, órbita/ponto 222/067, de 16/08/2014, horário central 13:17h (UTC). As imagens do visível e infravermelho próximo/médio do sensor ETM+, com resolução espacial de 30m, foram obtidas para a geração das composições coloridas para análise e interpretação dos tipos de alvos das imagens. Também foi utilizada a imagem do infravermelho termal (banda 6) com intervalo espectral de 10.4 - 12.5µm e com resolução espacial de 60m (reamostrada para 30m).

Também foram adquiridas as imagens do satélite Landsat 8, com mesma órbita/ponto, de 08/08/2014, horário central 13:19h (UTC). Foram utilizadas as imagens do visível e infravermelho próximo/médio do sensor OLI para a geração das composições coloridas, com resolução espacial de 30m. Com o intuito de estimar a temperatura de superfície utilizou a imagem do infravermelho termal do sensor TIRS (banda 10) com intervalo espectral de 10.6 - 11.19µm e resolução espacial de 100m (reamostrada para 30m).

Em virtude das imagens dos sensores térmicos possuem limitações devido aos efeitos de absorção e espalhamento causados pela atmosfera, no momento da passagem do sensor, a temperatura de superfície foi estimada com e sem correção atmosférica, com intuito de avaliar a diferença entre as mesmas.

Foi realizado o cálculo da temperatura de superfície sem correção atmosférica para o Landsat-7 a partir da conversão dos níveis de cinza da banda 6 em radiância espectral (TOA) através da equação 1 (USGS, 2014b).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) * (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + L_{min\lambda} \quad (1)$$

onde:

L_{λ} = Radiância espectral (W/ m².sr.µm)

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

$Q_{cal\ min}$ = Valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN=1)

$Q_{cal\ max}$ = Valor máximo do pixel em níveis de cinza (DN=255)

$L_{min\lambda}$ = Radiância espectral mínima (3.2 W/ m².sr.µm)

$L_{max\lambda}$ = Radiância espectral máxima (12.65 W/ m².sr.µm)

Posteriormente a radiância espectral foi convertida em temperatura a partir da equação 2. As constantes térmicas foram obtidas no arquivo de metadados obtidas no download das imagens no site da USGS.

$$T_{sc} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

onde:

T_{sc} = Temperatura sem correção atmosférica (Kelvin)

K_1 = Constante de calibração 1 (666.09 W/ m² sr μm)

K_2 = Constante de calibração 2 (1282.71 K)

L_λ = Radiância espectral (W/m² sr μm)

Para o cálculo da temperatura de superfície com correção atmosférica foram calculados os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície através do site da NASA (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>), conforme dados da Tabela 1. Em seguida foi efetuado o cálculo da radiância (L_T) através da equação 3 (BARSÍ, 2003).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - (1 - \varepsilon)L_d}{\tau\varepsilon} \quad (3)$$

onde:

L_T = Radiância de um alvo negro de temperatura cinética (W/ m²·sr·μm)

L_{TOA} = Radiância espectral (W/ m²·sr·μm)

τ = Transmissividade da atmosfera

ε = Emissividade da superfície

L_u = Radiância emitida pela superfície (W/ m²·sr·μm)

L_d = Radiância recebida pela superfície (W/ m²·sr·μm).

Tabela 1: Dados de entrada e saída para a correção atmosférica das imagens Landsat

Dados de entrada	Landsat 7	Landsat 8
Data de passagem	16/08/2014	08/08/2014
Latitude/Longitude	-10.122/ -48.205	-10.122/ -48.205
Altitude	0.260 km	0.260 km
Pressão	985.000 mb	983.800 mb
Temperatura	29.7°C	29.9°C
Umidade Relativa	34%	33%
Dados de Saída	Landsat 7	Landsat 8
Transmissividade atmosférica	0.84	0.83
Radiância emitida pela superfície	1.40 W/ m ² ·sr·μm	1.45 W/ m ² ·sr·μm
Radiância recebida pela superfície	2.30 W/ m ² ·sr·μm	2.43 W/ m ² ·sr·μm

Posteriormente foi realizado o cálculo da temperatura superfície com correção atmosférica através da equação 2 onde o L_λ corresponde a radiância L_T (BARSÍ, 2003).

Com o intuito de comparar os dados, foi realizado o cálculo da temperatura de superfície sem correção atmosférica para o Landsat-8 a partir da conversão dos níveis de cinza da banda 10 em radiância espectral (TOA) através da equação 4 (USGS, 2014c).

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

onde:

L_λ = Radiância espectral ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3.3420E-04)

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

A radiância espectral foi convertida em temperatura a partir da equação 2. As constantes térmicas da banda 10 do Landsat 8 foram obtidas no arquivo de metadados, onde K_1 equivale a $774.89 W/m^2 sr \mu m$ e K_2 equivale a $1321.08 K$.

Para o cálculo da temperatura de superfície com correção atmosférica do Landsat 8 também foram calculados os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície através do site NASA (Tabela 1) e a radiância (L_T) foi obtida através da equação 3.

Posteriormente foi realizado o cálculo da temperatura superfície com correção atmosférica através da equação 2 onde o L_λ corresponde a radiância L_T .

Para os dois métodos, optou-se em utilizar o valor de emissividade de 0.92, o qual corresponde ao valor médio das superfícies urbanas (NICHOL, 1994).

As temperaturas resultantes foram convertidas para graus Celsius ($^{\circ}C$) com a subtração do valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, que equivale a $273,15 K$.

As imagens de temperatura de superfície foram classificadas e foi aplicada uma escala cromática de pseudocor às imagens resultantes, com o intuito de melhor identificar o comportamento da temperatura dos alvos na imagens.

3. Resultados e Discussão

A figura 2 apresenta uma amostra das imagens de temperatura de superfície (TST) para os satélites Landsat 7 e 8, com e sem correção atmosférica para a região urbana de Porto Nacional-TO. As imagens TST sem correção atmosférica apresentaram valores de temperatura bem menores do que as imagens TST com correção atmosférica, apresentando diferenças entre si de até $8^{\circ}C$ em algumas regiões.

Analisando as imagens de TST (figura 2), observa-se que as imagens TST do Landsat 7 apresentaram uma representação mais detalhada da variação de temperatura dos alvos, enquanto que as imagens TST do Landsat 8 apresentaram uma maior generalização dos valores de temperatura dos alvos. Isso possivelmente deve estar associado a banda 6 do Landsat 7 possuir uma melhor resolução espacial (60m), do que a banda 10 do Landsat 8 (100m).

Tabela 2: Temperatura de Superfície Landsat 7 e 8.

Imagem	Temperatura ($^{\circ}C$)			
	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
Landsat 7 sem correção	22,4	40,0	31,2	5,2
Landsat 8 sem correção	23,6	40,0	31,8	4,8
Landsat 7 com correção	26,7	48,2	37,4	6,3
Landsat 8 com correção	28,3	48,7	38,5	5,9

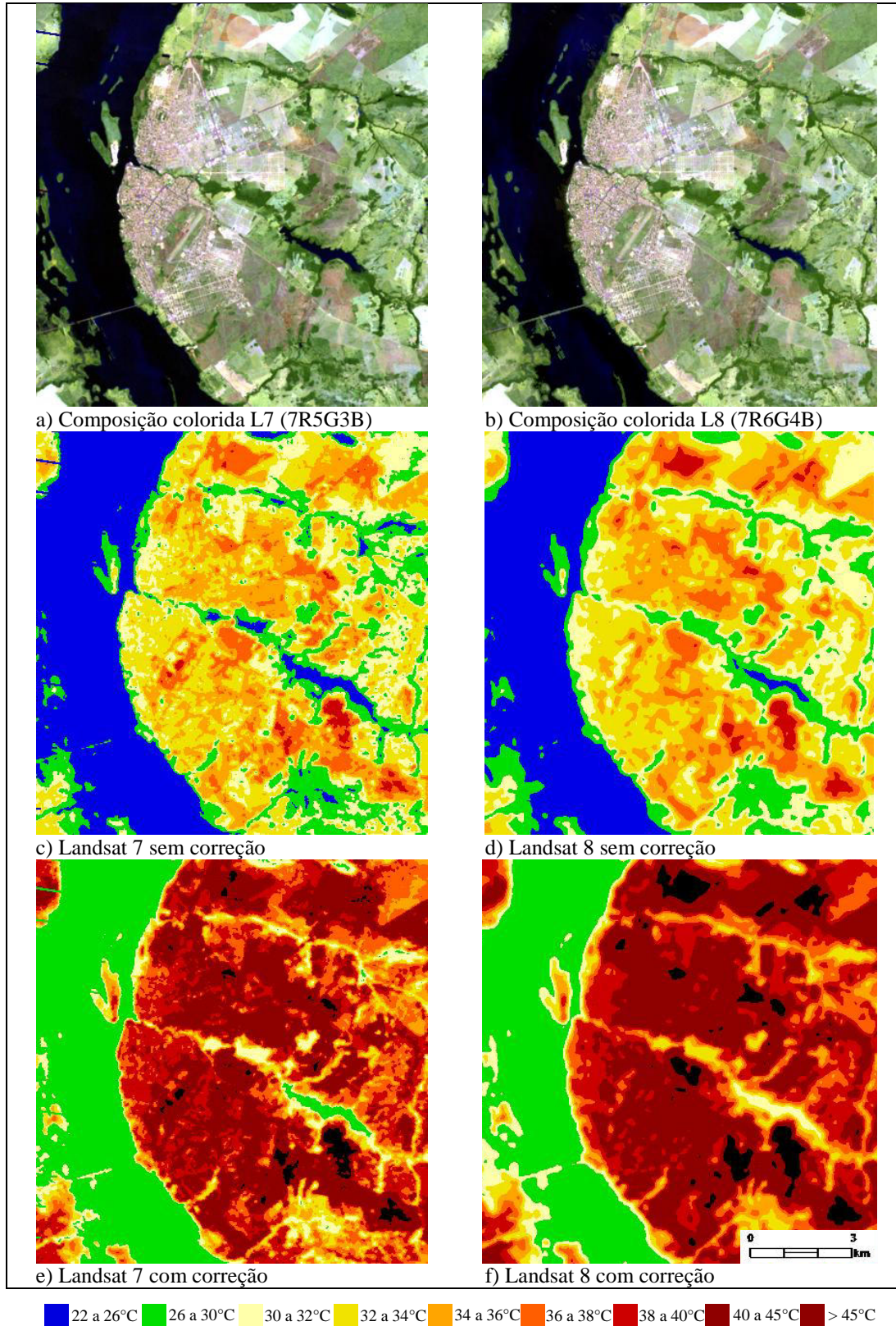


Figura 2. Temperatura de Superfície com e sem correção atmosférica e composição colorida para o Landsat 7 e 8.

A imagem TST sem correção atmosférica do Landsat 7 apresentou temperaturas variando de 22,4 a 40,0°C, e um desvio padrão de 5,2, enquanto a imagem TST sem correção atmosférica do Landsat 8 apresentou temperaturas variando de 23,6 a 40,0°C, e um desvio padrão de 4,8, conforme Tabela 2. As imagens TST com correção atmosférica de ambos os satélites também apresentaram temperaturas mínimas e máximas bem semelhantes.

Com o intuito de analisar a variação da temperatura entre as imagens, obteve-se os valores de temperatura de pontos amostrais nas imagens TST do Landsat 7 e 8, conforme Tabela 3. Observa-se que os valores de temperatura dos alvos apresentaram pouca variação entre os dois satélites, havendo uma variação máxima de 1,5°C. Salienta-se que as menores variações de TST ocorreram nas áreas urbanas e de solo exposto.

Tabela 3: Temperatura de Superfície de pontos amostrais do Landsat 7 e 8.

Pontos	Descrição	L7 sem correção	L8 sem correção	L7 com correção	L8 com correção
1	Represa	23,7	25,3	28,0	29,4
2	Lago	23,4	23,9	27,7	28,9
3	Área Urbana	31,1	31,0	37,2	36,5
4	Área Urbana	32,9	33,0	39,4	39,9
5	Solo Exposto	36,5	37,1	43,9	42,6
6	Mata Ciliar	26,5	27,6	31,5	34,9
7	Vegetação Nativa	26,2	27,5	31,2	33,3
8	Solo Exposto	39,5	39,8	47,6	48,3

Os dados de temperatura de superfície obtidos foram comparados com os dados de temperatura do ar, medida na estação meteorológica do INMET. As imagens TST sem correção apresentaram valores mais próximos a temperatura do ar, com diferença de até 0,4°C, enquanto que as imagens TST com correção apresentaram uma diferença de até 7°C.

4. Conclusões

A metodologia empregada nesse trabalho permitiu avaliar o comportamento da temperatura de superfície para as imagens dos satélites Landsat 7 e 8, com e sem correção atmosférica.

As imagens TST sem correção atmosférica apresentaram temperaturas mais baixas do que as imagens TST com correção atmosférica e apresentaram temperaturas mais próximas a temperatura do ar.

Salienta-se que apesar das imagens termais do Landsat 8 apresentarem ainda problemas de calibração devido a falha de dispersão da luz difusa, as imagens de TST de ambos os satélites apresentaram de um modo geral temperaturas bem próximas.

Cabe ressaltar que as imagens TST do Landsat 7 permitiu uma melhor distinção da temperatura de superfície entre os alvos da imagem, entretanto em virtude das imagens apresentarem ruídos nas bordas das cenas, o seu uso se torna restrito para as áreas centrais da imagem.

Nesse sentido, recomenda-se o uso das imagens do Landsat 8 para áreas maiores, onde não há a necessidade de um detalhamento maior da TST entre os alvos, e para as regiões onde as imagens do Landsat 7 apresentarem ruídos.

5. Referências

Barsi, J.A., J.L. Barker, J.R. Schott. **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument**. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2º Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Base dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 25/08/2014.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Landsat 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Update**. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/about_LU_Vol_8_Issue_2.php#2a. Acesso em: 29.out.2014.

Nichol, J.E. A GIS-Based Approach to Microclimate Monitoring in Singapore's High-Rise Housing Estates. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n. 10, p. 1225-1232, 1994.

Schott, J. R; Gerace, A; Raqueno, N; Ientilucci E; Raqueno, R. "**Chasing the TIRS ghosts: calibrating the Landsat 8 thermal bands**", Proc. SPIE 9218, Earth Observing Systems XIX, 92181A (October 2, 2014); doi:10.1117/12.2063236; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2063236>

Steinke, V. A.; Steinke, E. T.; Saito, C. H. **Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF**. Revista Brasileira de Climatologia, ano 6, p. 37-56, 2010.

USGS (United States Geological Survey). **Using Landsat 7 Data**. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/using_Landsat_7_data.php. Acesso em: 29.out.2014.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat 7 Science Data Users Handbook - NASA**. Disponível em: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 29.out.2014.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php .Acesso em: 29.out.2014.