

Análise multitemporal da temperatura de superfície para a área rural do município de Paz de Ariporo – departamento de Casanare – Colômbia

Edward Rodrigo Sánchez Malagón¹
Luciana Vicente Gomes¹
Adriana Castreghini de Freitas Pereira¹

¹ Universidade Estadual de Londrina – UEL
Departamento de Geociências - Centro de Ciências Exatas – CCE
Caixa Postal 6001- CEP 86051-980 Londrina, PR, Brasil
edrosama@gmail.com, lucvicgo@hotmail.com, adrianacfp@uel.br

Abstract. This study aimed to analyze the occurrence of high surface temperatures in the rural area of Paz de Ariporo (Casanare – Colombia) through the use of remote sensing; the heating in this region was expressed this year (2014) with the death of thousands of animals. Remote sensing help understand the magnitude (degrees Celsius) and distribution (spatial and temporal) from this phenomenon. In this region, March is the hottest month of the year in this way were selected and processed three images (6 / 56 orbit), two from the sensor Thematic Mapper (TM) aboard the satellite orbit Landsat-5 with date of passage March 25, 1991 and March 31, 1999, and an image from the sensors Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) aboard the satellite orbit Landsat-8 with date of passage March 8, 2014. The techniques used were the calculation of the spectral radiance and spectral reflectance for the subsequent calculation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface temperature. Weather conditions and the time of images were an important factor in this analysis. Image processing allowed us to identify areas of heat concentration with low vegetation indices for this year and for earlier dates, finding temperatures up to 44 °C.

Palavras-chave: surface temperature, remote sensing, vegetation index, temperatura de superfície, sensoriamento remoto, índice de vegetação.

1. Introdução

Todos os seres vivos sofrem influencias do ambiente que os rodeia, o clima é um dos elementos do ambiente que mais afetam a biosfera (positiva ou negativamente), uma vez que, os fenômenos climáticos incidem sobre os processos geomorfológicos, pedológicos, de desenvolvimento das plantas e dos animais.

As bases para a vida humana também estão pautadas no clima, visto que a obtenção de água e alimento, a distribuição de animais e vegetais pelo globo, a necessidade de diferentes tipos de abrigo ou vestuário e o desenvolvimento das atividades econômicas estão em dependência dos fenômenos atmosféricos.

As secas são um tormento climático que causa devastações no mundo vivo, impactos negativos na economia e na sociedade, ocorrendo quando “há insuficiência de água no ambiente, ou seja, quando o volume de precipitações é incapaz de repor a água retirada pelos altos índices de evaporação e evapotranspiração” (Conti, 1998, p. 36)

O município de Paz de Ariporo, departamento de Casanare – Colômbia, apresentou este ano uma forte seca, sendo que, segundo o Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014) morreram mais de 20 mil animais entre capivaras, tartarugas, jacarés e bovinos. O clima do município é classificado, segundo a classificação climática de Köppen, como Aw (clima tropical com estação seca), com uma humidade relativa de 76% e a temperatura média anual de 26,7°C, sendo março o mês de maior temperatura e julho de menor.

Com as altas temperaturas, grande incidência de radiação solar e baixa umidade do ar, reduzida disponibilidade de água e alimento, a temperatura corporal dos animais sobe, exigindo de seus organismos respostas adaptativas que, quando a duração e intensidade do estresse é muito grande, comprometem suas funções fisiológicas, imunológicas e comportamentais. (Azevêdo, 2009, p. 18)

O sensoriamento remoto atua como uma ferramenta de fundamental importância na análise temporal de fenômenos como, no caso, climáticos, uma vez que as imagens de satélite permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de um dado local, sua cobertura vegetal, ocupação do solo e deterioração de recursos naturais.

Este trabalho tem por objetivo analisar a ocorrência de altas temperaturas de superfície na área rural do município de Paz de Ariporo, associada à cobertura do solo para relacionar com o evento climático de seca, através do uso de sensoriamento remoto.

1. Área de estudo

Paz de Ariporo é um município colombiano localizado no departamento de Casanare, na região Leste da Colômbia, possui uma área de 12.114 km², altitude média de 275 m. A área selecionada corresponde a um recorte da área rural do município (64% da área total) utilizando a projeção e datum: UTM/ WGS84, zona 19N.

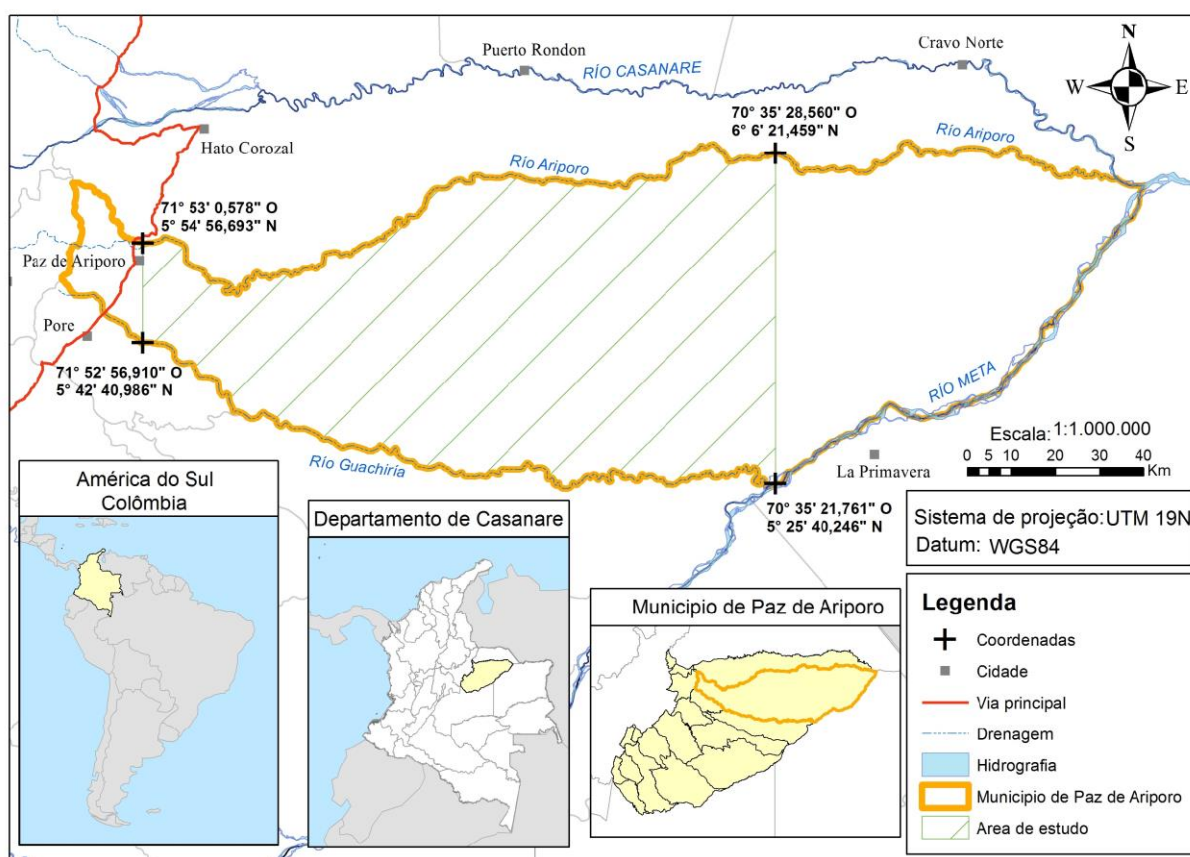


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Paz de Ariporo - Colômbia.

2. Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens orbitais dos satélites Landsat-8 e Landsat-5. Na seleção das imagens buscou-se o mês mais quente do ano que correspondeu ao mês de março; além da disponibilidade de imagens de satélite para a área de estudo. Deste modo, encontraram-se disponíveis uma imagem atualizada a 2014 do satélite Landsat-8 e duas imagens do satélite Landsat-5 para os anos 1991 e 1999. Ao fazer o cruzamento da camada do município e as imagens se gerou a área de trabalho correspondente a 7.700 km² da área rural.

Os cálculos propostos na pesquisa, objetivando a análise de ocorrência de altas temperaturas através do sensoriamento remoto, foram o cálculo da radiância espectral; da reflectância espectral; o NDVI e a temperatura de superfície.

A ferramenta utilizada para tanto foi o programa ArcGIS 10.0, e três imagens, duas do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat-5, órbita/ponto 6/56 com data de passagem 25 de março de 1991 (horário local 9:21 h) e 31 de março de 1999 (horário local 9:38 h). Uma terceira imagem dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) do satélite Landsat-8, na mesma órbita/ponto 6/56 com data de passagem 8 de março de 2014 (horário local 10:00 h) também foi utilizada. As imagens foram adquiridas através do site do *United States Geological Survey* (USGS, 2014a).

2.1 Cálculo da radiância espectral

Conforme Chander e Markham (2003), o cálculo de radiância é o passo fundamental para transformar os dados de imagem de vários sensores e plataformas em uma escala radiométrica comum, para conversão dos níveis de cinza para radiância foi utilizada a equação (1):

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} = radiância espectral em Watts / (m² * sr * μm)

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento específico por banda

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN

A_L = Fator de redimensionamento aditivo específico por banda

A tabela 1 apresenta os fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância das imagens Landsat-5, bandas 3, 4 e 6.

Tabela 1 - Landsat-5 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância

Bandas	M_L	A_L
3(Vermelho)	1,043976	-2,21
4 (IV próximo)	0,876024	-2,39
6 (IV termal)	0,055376	1,18

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>

Dando continuidade ao programa Landsat foi lançado em fevereiro de 2013 o satélite Landsat-8, operando com dois instrumentos imageadores, o sensor *Operational Land Imager* (OLI) e um sensor térmico infravermelho chamado *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). De acordo com o manual de usuário disponibilizado pela USGS (2014b) a radiância espectral pode ser calculada usando a equação (1) e os fatores de redimensionamento fornecidos no arquivo de metadado da imagem.

Tabela 2 - Landsat-8 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância

Bandas	M_L	A_L
4 (Vermelho)	1,0139E-02	-50,69473
5 (IV próximo)	6,2045E-03	-31,02265
10 (IV termal 1)	3,3420E-04	0,1

Fonte: Metadado da imagem

2.2 Cálculo da reflectância espectral

Foi calculada a reflectância espectral no topo de atmosfera (TOA). Para as imagens Landsat-5 foram utilizadas a equação e os parâmetros propostos por Chander et al. (2009).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância espectral no topo de atmosfera

π = constante matemática

L_{λ} = radiância espectral em Watts / (m² * sr * μ m)

d = Distância terra-sol (unidades astronômicas)

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiância solar exoatmosférica média (Watts / (m² * μ m))

θ_s = Ângulo Zenith solar (graus)

O cosseno do ângulo Zenith solar é igual ao seno do ângulo de elevação solar, o valor deste ângulo está disponibilizado no metadado das imagens. Os dados utilizados estão resumidos na seguinte tabela:

Tabela 3 - Landsat-5 parâmetros para o cálculo da reflectância espectral

Parâmetro \ Imagem	1991	1999
d^*	0,99725	0,99897
$ESUN_{\lambda}^*$	Banda 3	1570
	Banda 4	853,4
SUN_ELEVATION**	57,61541761	52,62355299

Fonte: * Chander et al. (2009). ** Metadado da imagem.

Concordo a USGS (2013b) para imagem Landsat-8 a radiância espectral pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$\rho_{\lambda} = M_p \times Q_{cal} + A_p \quad (3)$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância espectral topo de atmosfera

M_p = Fator multiplicativo de redimensionamento específico por banda

A_p = Fator de redimensionamento aditivo específico por banda

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN

O valor ESUN não é fornecido para a imagem Landsat-8 segundo USGS (2013c), para o cálculo de reflectância espectral desta imagem foram utilizadas as constantes disponibilizadas no metadado da imagem.

Tabela 4 - Landsat-8 fatores para o cálculo da reflectância espectral

Bandas	M_p	A_p
4 (Vermelho)	0,00002	-0,1
5 (IV próximo)	0,00002	-0,1

Fonte: Metadado da imagem

2.3 Cálculo do índice de vegetação

O índice mais conhecido visando o realce das variações de densidade da cobertura vegetal é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI sendo o mais apropriado para fazer comparações ao longo do tempo. Para calcular o NDVI foi utilizada a equação segundo Novo (2008):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Onde:

NIR= reflectância da banda do infravermelho próximo

RED= reflectância da banda do vermelho

2.4 Cálculo da temperatura de superfície

A banda termal pode ser convertida para temperatura de superfície a partir da radiância espectral. Para calcular a temperatura de superfície foi utilizada a seguinte equação.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

Onde:

T= Temperatura efetiva no satélite em Kelvin

K₂= Constante de calibração 2 em Kelvin

K₁= Constante de calibração 1 em Watts / (m²*sr*µm)

L_λ= Radiância espectral em Watts / (m²*sr*µm)

De acordo com Chander et al. (2009) as constantes de calibração do satélite Landsat-5 são:

Tabela 5 – Constantes de calibração para a banda termal (Banda 6) do Landsat-5

Constante	K ₁	K ₂
L5 TM	607,76	1260,56

Para o calculo de temperatura de superfície para a imagem Landsat-8 foram utilizadas as constantes disponibilizadas no metadado da imagem:

Tabela 6 - Constantes de calibração para a banda termal (Banda 10) do Landsat-8

Constante	K ₁	K ₂
L8 TIRS	774,89	0,10000

3. Resultados e Discussão

De acordo com de Mello Baptista (2012) a radiação eletromagnética que sai de um objeto é chamada de fluxo radiante e a concentração desta que sai do objeto é chamada de temperatura radiométrica ou temperatura aparente. Por isso deve-se levar em conta que o sensor não está medindo a temperatura cinética do objeto como faz o termômetro, desta maneira se explica como as imagens processadas registram temperaturas maiores do que

40°C. Também sugere o índice de vegetação NDVI por ser mais apropriado para fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área.

Na figura 2 observa-se a temperatura de superfície (TS) para a imagem Landsat do ano de 1991. Esta imagem apresenta uma pequena concentração de temperatura entre 30°C e 35°C na região leste onde os valores dos índices de vegetação são próximos a 0 (zero) relacionados a solo exposto, a máxima temperatura calculada foi de 41°C; ao longo da rede de drenagem a temperatura é baixa, entre 20°C e 25°C, considerando que o índice de vegetação para a mesma data apresenta valores altos próximos de +1, podendo-se supor que a presença de vegetação vigorosa ajudou no equilíbrio da temperatura.

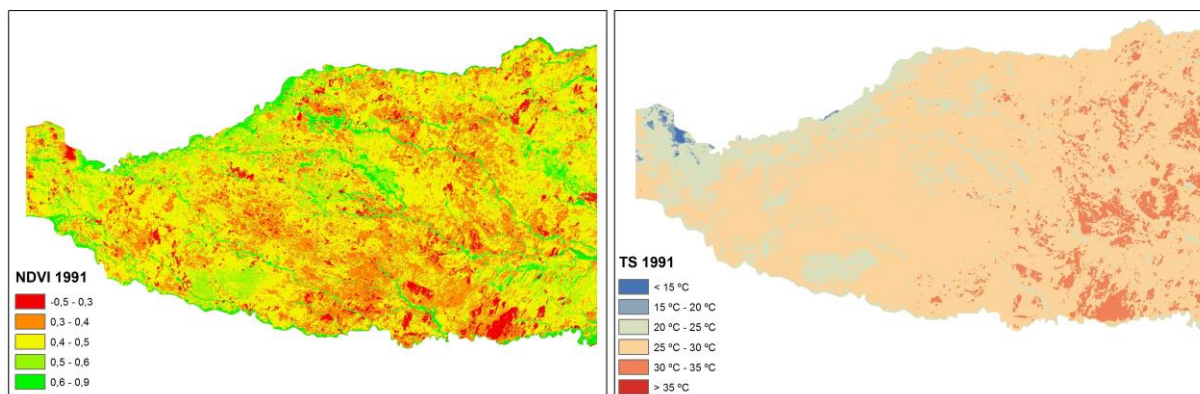


Figura 2. NDVI e TS da área de estudo no dia 25 de março de 1991.

Observa-se que a Temperatura de Superfície (TS) para a imagem do ano 1999 (Figura 3), apresentou um comportamento diferente, registrando temperaturas menores, entre 15°C e 25°C, concentradas na área central causada pela influência do aquecimento solar. No dia da tomada das imagens, provavelmente, a insolação era fraca e consequentemente se apresentaram temperaturas baixas e emissão menor. O mais aconselhável é a obtenção das imagens termais em horário anterior ao amanhecer do dia, quando o calor armazenado pela insolação já tenha se dissipado. Porém, pela disponibilidade de imagens da área de estudo e de sua própria localização, as imagens termais possíveis foram tomadas entre as 9 e 10 horas da manhã.

O comportamento do Índice de Vegetação e a temperatura de superfície para esta data também é diferenciado porque os valores altos do NDVI concentrados na região central da área que indicam alta densidade de componente vegetal tem uma resposta térmica alta, entre 20°C e 25°C, para índices baixos também se apresentam temperaturas baixas.

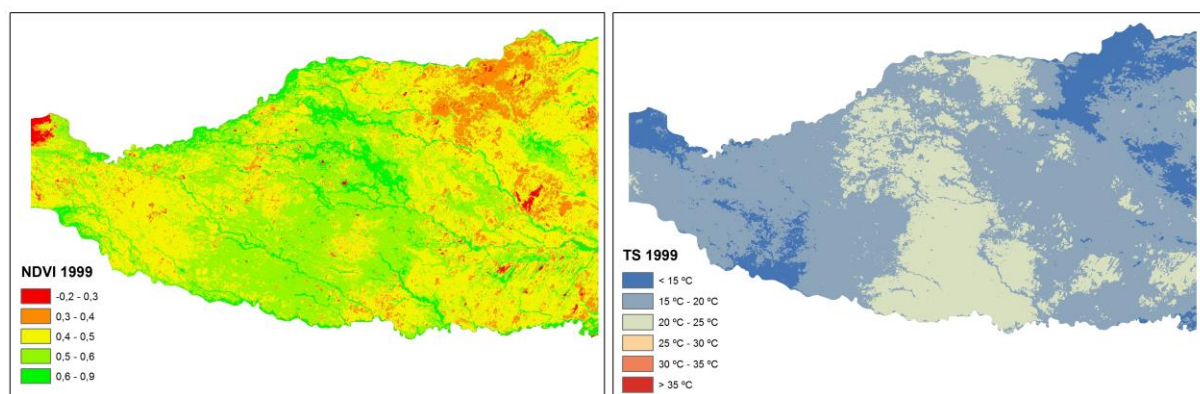


Figura 3. NDVI e TS da área de estudo no dia 31 de março de 1999.

A temperatura de superfície (TS) para a imagem do ano 2014 (Figura 4) apresenta maiores concentrações de altas temperaturas, entre 30°C e 35°C, na região leste onde os valores dos índices de vegetação são menores, relacionados a solo exposto. A máxima temperatura calculada foi de 44°C.

As diferentes sensibilidades ao comprimento de onda das bandas das bandas 4 (vermelho) e 5 (IV próximo) do Landsat-8 resultaram em baixos valores de NDVI.

Apesar do clima do município possuir uma estação seca definida, o episódio registrado este ano apresentou tamanha intensidade, os seres vivos da região passaram por um estresse causado pelo calor e falta de água. Em condições de seca, a vegetação cultivada ou nativa não atinge seu estágio de maturidade, tendo sua disponibilidade para consumo animal reduzido e diminuindo a evapotranspiração, causando alterações no microclima local, podendo contribuir para o agravamento da condição de seca.

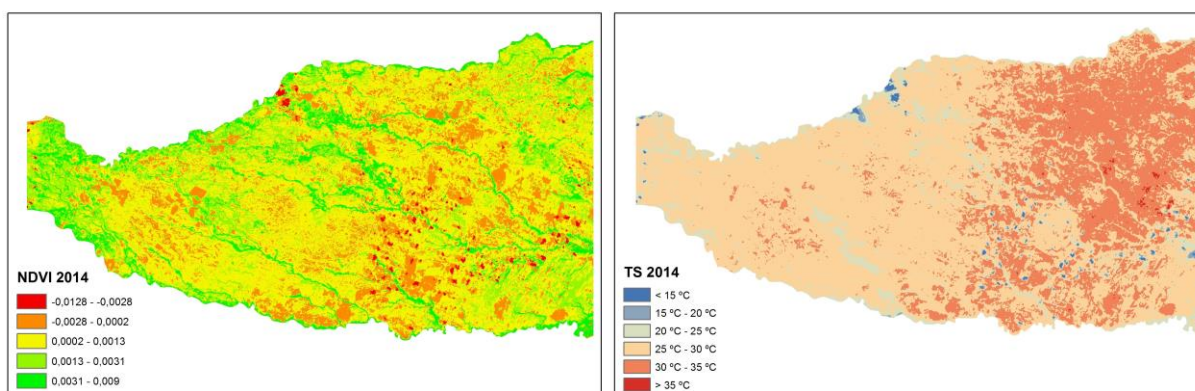


Figura 4. NDVI e TS da área de estudo no dia 8 de março de 2014.

Os resultados de temperatura para os anos 1991 e 2014 apresentaram um comportamento próximo com valores altos na região leste da área de estudo, valores que sobrepõem os 40 °C. Deve-se considerar que esta região é a mais afastada da interação antrópica e é onde se encontra a maior biodiversidade e concentração de populações animais.

4. Conclusões

Baseado na análise de temperatura de superfície para o mês de maior temperatura na área rural do município de Paz de Ariporo encontrou-se que o aquecimento atual (ano 2014) se apresenta em menor do que aqueles de datas anteriores, menor proporção em datas anteriores, especialmente para o mês de março de 1991 onde as temperaturas registradas foram maiores que 40 °C. Levando em conta as datas das imagens utilizadas nesta pesquisa, 1991 e 2014, poderia-se inferir que no começo do mês de março as temperaturas podem ser maiores e vão abaixando para o final do mês, seria necessário aprofundar os estudos sobre o comportamento do clima na região.

Talvez por problemas de segurança na área de estudo em anos anteriores, não permitiam evidenciar a magnitude das consequências deste fenômeno de aquecimento. Novamente o sensoriamento remoto demonstrou ser uma alternativa para o estudo das mudanças climáticas, e nesta pesquisa, as imagens da série de satélites Landsat permitiram realizar uma aproximação temporal e espacial de forma rápida com um custo baixo na estimativa da temperatura de superfície, a qual depende da energia disponível, das condições climáticas do dia das imagens.

Agradecimentos

Este trabalho se insere entre as iniciativas dos autores voltadas à aplicação do sensoriamento remoto no estudo das dinâmicas ambientais. O primeiro autor é bolsista estrangeiro do Programa de Alianças para a Educação e Capacitação da OEA e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras OEA-GCUB 2013 (CAPES/mestrado).

Referências Bibliográficas

Azevêdo, D. M. M. R. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 83 p.

Conti, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. São Paulo: Atual, 1998.

Chander, G.; Markham, B. L. **Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 2674–2677, 2003.

Chander, G; Markham, B. L.; Helder, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors**. Remote sensing of environment, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

de Mello Baptista, G. M. Sensores imageadores na faixa do termal (8 - 14 μm). Meneses, P. R., & Almeida, T (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, 2012. Cap. 3, p. 47-56.

IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. **Estos son los 5 “pecados” que podrían haber desencadenado la tragedia ambiental en Casanare, según estudio del IGAC, 2014**. Disponível em: < <http://www.igac.gov.co/>>. Acesso em: 15.abr.2014.

Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 3ª edição, 2008. 358p.

USGS - United States Geological Survey (2014a). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, 2014. Disponível em < <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 2. Maio. 2014.

USGS - United States Geological Survey (2014b). **Using the USGS Landsat 8 Product, 2014**. Disponível em <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em: 15. Julho. 2014.

USGS - United States Geological Survey (2014c). **Frequently Asked Questions about the Landsat Missions**. Disponível em < <http://landsat.usgs.gov/ESUN.php>>. Acesso em: 16. Julho. 2014.