

USO DO SINAL INFRAVERMELHO TERMAL DE IMAGENS ETM+ DO LANDSAT-7 NO MAPEAMENTO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS NA REGIÃO DE IRECÊ, BAHIA.

Hailton Mello da Silva¹ & Luiz Rogério Bastos Leal²

RESUMO - No Brasil, a maioria dos trabalhos desenvolvidos em ambientes cársticos com o uso da tecnologia infravermelho/termal são dirigidos à caracterização da cobertura vegetal. O baixo grau de maturidade do carste da região de Irecê, área potencialmente agrícola, estabelece um padrão de pequenas estruturas que não são detectadas em imagens de baixa resolução espacial. O preparo da terra para a agricultura encobre estas estruturas e somente aquelas com rebatimento acentuado são passíveis de reconhecimento. Entretanto, as mesmas acumulam água em épocas de chuva, funcionando como pontos de recarga do aquífero. O sensor ETM+ do LANDSAT-7 imageia a temperatura da superfície terrestre com um canal infravermelho termal de resolução espacial igual a 60 metros. Neste trabalho, convertimos o sinal deste sensor e classificamos regiões na imagem com temperatura crescente do centro para a borda, coincidentes com estas estruturas cársticas. Devido à baixa resolução espacial da imagem só conseguimos detectar as estruturas maiores. No entanto, com o avanço da tecnologia e o surgimento de sensores termais de maiores resoluções espaciais, seremos capazes de ampliar nossa detecção para estruturas menores, abundantes na região estudada.

Palavras-chave : Sensoriamento Remoto, Infravermelho Termal, Feições Cársticas.

ABSTRACT - In Brazil, most of the works developed in karstic environment with the use of the thermal infra-red technology are directed to the characterization of the vegetal covering. The low degree of karstic maturity in Irece, a potentially farming area, exhibits a karstic features pattern of hard detection in low spatial resolution imaging. The land preparation for harvest hides such structures and just those ones with enhanced collapsing are subject to be identified. These features, even the ones with little collapsing characteristics, hold water and function as supplying points for the aquifer in times of rain. Sensor ETM+ obtains images of the temperature issued from the surface of the earth, with the use of a thermal infra-red channel in a spatial resolution of 60 meters. In this work we converted this sensor signal in Kelvin unit and classified regions in the image with increasing temperature from the center to the edges consistent with ground sinkholes. Due to the image low spatial resolution, we could just identify the major structures. However, with the technology advances and the rise of high resolution thermal sensors we are finally able to enhance the images from lesser structures, which are plenty in the surveyed area.

Key words: Remote Sensing – thermal infra-red – karstic features.

1) Professor Adjunto da UFBA, DGGGA, Inst. de Geociências, Campus de Ondina, R. Barão de Jeremoabo, s/n, CEP: 40.170-115. hailton@ufba.br

2) Professor Adjunto da UFBA, DGGGA, Inst. de Geociências, Campus de Ondina, R. Barão de Jeremoabo, s/n, CEP: 40.170-115. lrogerio@ufba.br

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto, nos últimos anos, vem se constituindo como uma das principais ferramentas de auxílio à interpretação das mudanças geológicas e ambientais no planeta Terra: naturais ou promovidas pelo homem.

No entanto, Yang *et al.* (2000), defende que o principal fator que influencia na extração das informações do Sensoriamento Remoto é a complexidade da imagem. Isto porque, em cada pixel, a imagem registra informações diversas, concernentes às feições terrestres e ambientais. Cabe ao pesquisador encontrar neste registro a informação relativa à sua investigação.

Esta complexidade aumenta quando se pretende extrair informações de feições no terreno produzidas por dissolução em ambiente cárstico, tais como dolinas, úvulas e fraturas, principalmente quando este terreno passa constantemente por interferências de atividades humanas.

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos no Brasil no que tange ao uso do sinal infravermelho termal (TIR) aplicado à investigação da temperatura de superfície e dos recursos naturais. Trabalhos como os de Boggione (2003), Folhes (2005), Souza *et al.* (2005), Silva *et al.* (2005), Araújo *et al.* (2007), usando imagens do LANDSAT-5 – TM e, de Pereira *et al.* (2006), com imagens do LANDSAT-7- ETM+, são alguns exemplos disto.

No entanto, poucos trabalhos foram aplicados a terrenos cársticos, com destaque para Silva e Santos (2007) que estimaram a temperatura do solo em uma área dentro da região que investigamos, utilizando a imagem IRMSS (Infrared Multispectral Scanner) do satélite sino-brasileiro CBERS-2.

O objetivo do nosso trabalho é investigar a possibilidade de detecção de estruturas cársticas, em particular as dolinas, em uma bacia hidrogeológica do semi-árido baiano com o uso do sinal infravermelho termal do LANDSAT-7 – ETM+.

Por se tratar de uma bacia hidrogeológica de grande importância pelo seu alto potencial agrícola, este trabalho poderá contribuir para futuros cálculos de modelagens hidrogeológicas, fornecendo parâmetros para a avaliação da quantidade de água que aporta à esta bacia em períodos de chuva.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada no semi-árido baiano, a Bacia Hidrogeológica Cárstica de Irecê ocupa uma área aproximada de 32.000 km², englobando as bacias hidrológicas dos Rios Verde e Jacaré, pertencentes à margem direita do Rio São Francisco. O município de Irecê, principal localidade da região, dista cerca de 480 km de Salvador, capital do Estado da Bahia. (Fig. 1).

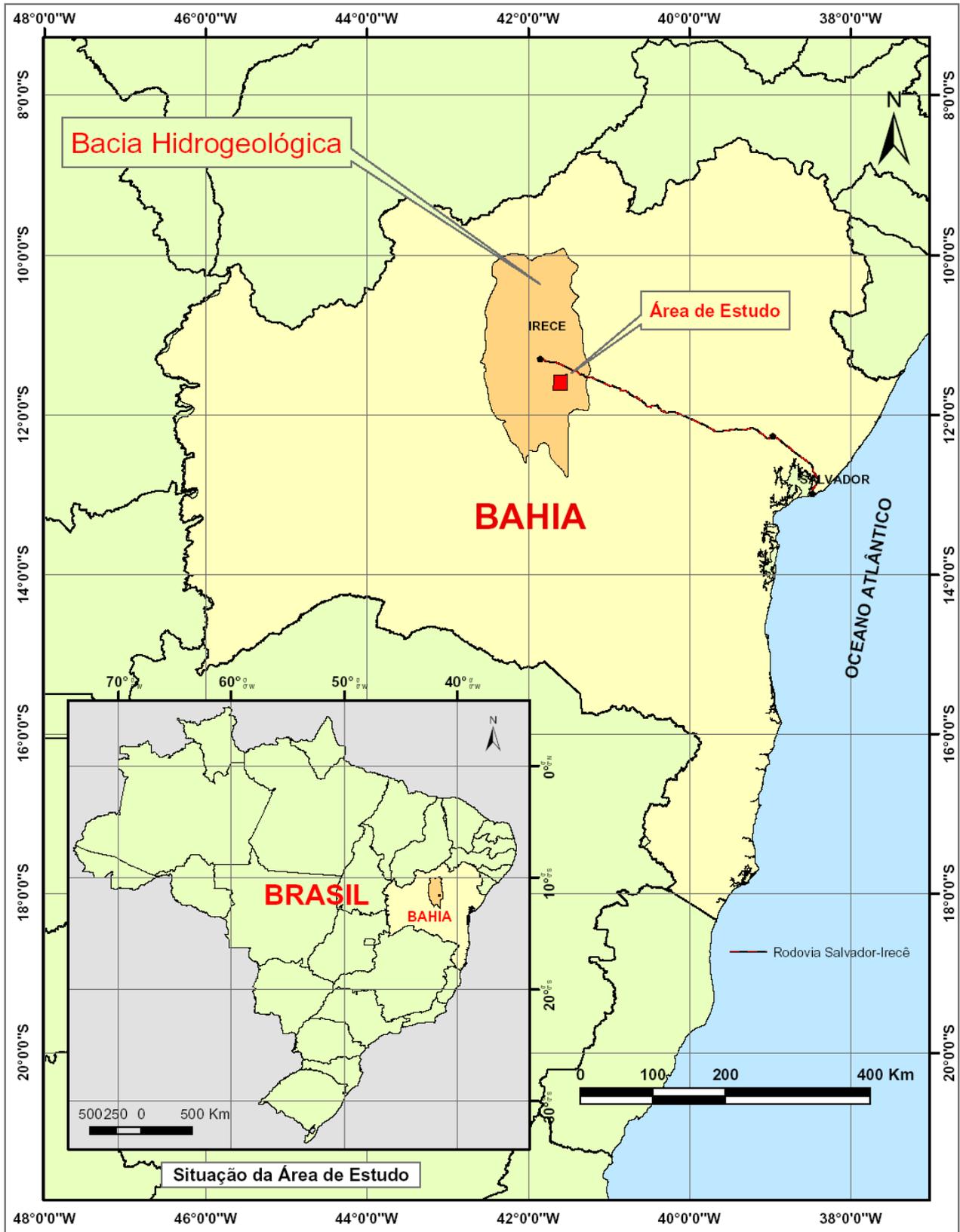


Figura 1- Situação e localização da área estudada.

Geologicamente, esta região cárstica é constituída por um conjunto de rochas sedimentares do Neoproterozóico onde, carbonatos com pelitos subordinados descansam sobre metassedimentos de idade Mesoproterozóica do Grupo Chapada Diamantina. [Inda e Barbosa (1996)]. Estruturalmente, o conjunto cárstico apresenta, a Sul, dobras abertas do tipo flexural, compondo anticlinais e sinclinais com superfícies plano-axiais subverticais, de direção norte-sul e leve caimento de eixo para norte, produtos de uma primeira fase de deformação e, a Norte, dobras com caimento de eixos para leste e oeste em planos axiais subverticais orientados na direção leste-oeste caracterizando uma segunda fase de deformação [Bonfim *et al.* (1985)]. Destes dois episódios de deformação resultaram falhas de direção noroeste-sudeste, com mergulhos sub-verticais, nordeste-sudoeste, leste-oeste e norte-sul. O Sistema leste-oeste destaca-se como de falhas contracionais de empurrão, mergulhando fortemente para norte.

Com uma temperatura média anual de 26° Celsius, a área apresenta uma precipitação pluviométrica anual média de 700.6 mm, concentrada entre os meses de novembro e março.

A evaporação média de 2716.4 mm anual resulta em um déficit hídrico médio de 2015.8 mm/ano [Silva (2005)].

Este alto déficit hídrico anual e o carste da região determinam a falta de água em superfície, sendo dominante o uso da água subterrânea, principalmente na agricultura.

O processo de carstificação está condicionado tanto à disposição das camadas sedimentares (direção e mergulho) quanto ao direcionamento das estruturas tectônicas impressas nestas unidades, tais como falhas, fraturas e foliações [Silva e Leal (2007)] (Fig. 2).

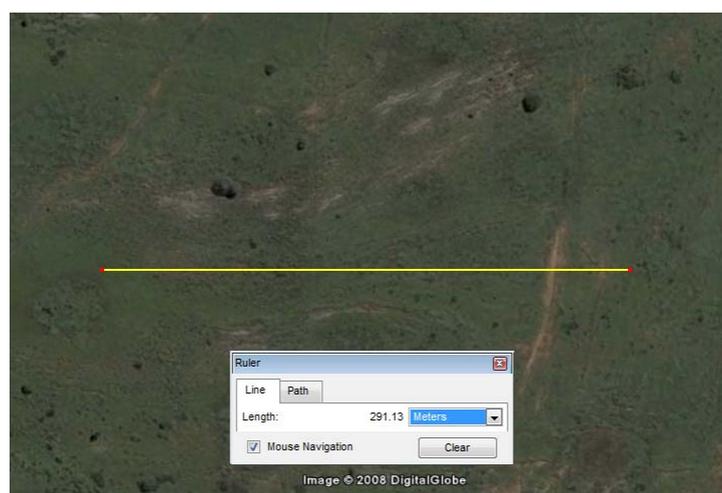


Figura 2 – Manchas acinzentadas no solo acompanhando as foliações das rochas.
Fonte: Digital Globe/Google Earth (2008).

No entanto, a baixa precipitação pluviométrica anual também condiciona a pouca incidência de dolinas bem desenvolvidas ou com altas subsidências [Oliveira (2001)]. O que se percebe com frequência no solo, principalmente em fotografias aéreas e imagens de alta resolução, são manchas de dimensões reduzidas, de colorações cinza/amareladas e formas arredondadas elipsoidais, onde a água se concentra nos períodos chuvosos por força de uma leve subsidência no nível do terreno.

Estas manchas são resultado da concentração de argila no solo, por ação da dissolução do carbonato, o que facilita a maior permanência da água em superfície nos períodos de chuvas. Isto caracteriza o que podemos chamar de dolinas imaturas, ou seja, dolinas rasas de baixa subsidência.

Por força do caráter essencialmente agrícola da região, estas estruturas cársticas de baixa profundidade são revolvidas por ocasião do plantio, voltando a aparecer após uma nova precipitação pluviométrica substancial (Figs. 3 e 4).

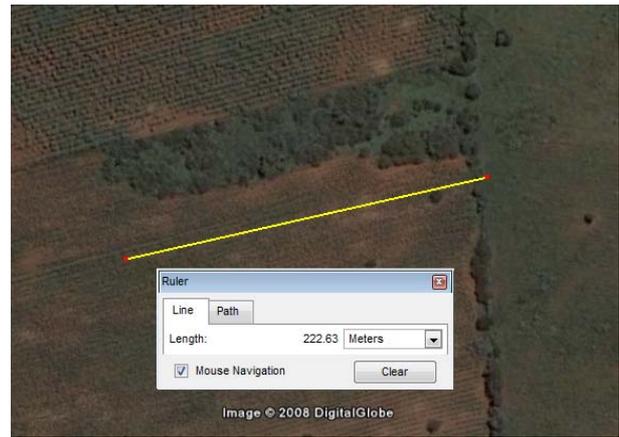
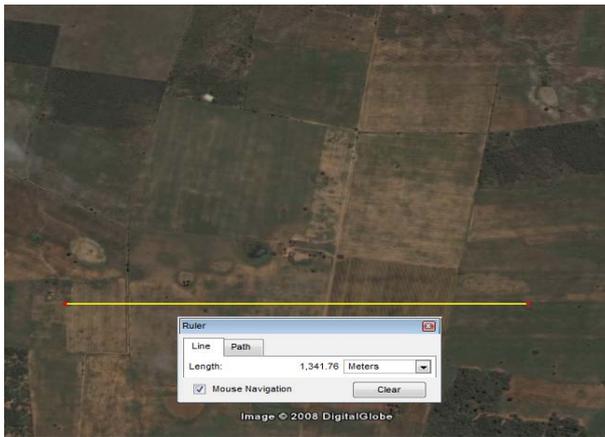


Figura 3 – Rebaixamento ovalado do terreno em Fazenda no município de Irecê.

Fonte: Trabalho de Campo, em 14/04/2009.

Por outro lado, também se destacam, em imagens de alta resolução, regiões de formas arredondadas/elipsoidais, dentro das fazendas, onde existe uma incidência maior da vegetação, caracterizando possíveis dolinas, de maiores proporções, preservadas no processo de lavra do terreno. A água acumulada nestas dolinas favorece a exuberância da vegetação local (Fig. 5).

Outra forma incidente de dolinas na região se dá a partir da drenagem local que, em épocas de chuvas, concentra o fluxo de água superficial ao longo de canais, possivelmente acompanhando estruturas geológicas, acarretando a concentração da água nas partes mais baixas do terreno. A dolina se forma com o alargamento destes canais (Fig. 6).



Figuras 4 e 5 – Feições cársticas arredondadas dentro de áreas de cultivo, à esquerda, e terreno de forma elipsoidal e com vegetação preservada ao cultivo dentro da fazenda, à direita.
 Fonte: Digital Globe/Google Earth, (2008).

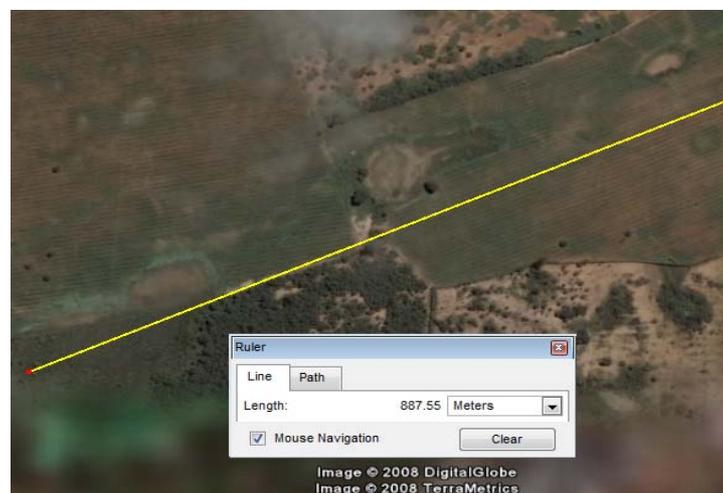


Figura 6 – Canais de drenagem condicionando o aparecimento de dolinas orientadas a NE-SW, acompanhando estruturas geológicas.
 Fonte: Digital Globe/Google Earth (2008).

As imagens LANDSAT-7 do espectro eletromagnético visível, cuja resolução espacial é de 28m, são incapazes de mostrar com distinção estas feições cársticas descritas, devido às suas dimensões reduzidas e à imaturidade nos seus desenvolvimentos.

Deste modo, selecionamos para testar a resposta do sinal IR termal, uma porção da área da bacia hidrogeológica, imageada em alta resolução pelo WorldView-1, satélite de alta resolução da Digital Globe, disponível no site do Google Earth a partir de 2007 [BOEING (2007)]. A área com 392.7 Km² de superfície, está compreendida entre as coordenadas de 41° 30' 54" e 41° 41' 13" de longitude oeste e 11° 29' 39" e 11° 41' 27" de latitude sul, dentro dos municípios de Lapão,

América Dourada, Canarana e Cafarnaum. Apesar das dimensões reduzidas este recorte de imagem é representativo do carste regional.

3. RADIAÇÃO TERMAL DOS CORPOS TERRESTRES

A Radiação Eletromagnética Infravermelha estende seu espectro de 0,7 a 14,0 μm , com uma região reflectiva entre 0,7 e 3,0 μm e termal entre 3,0 e 14,0 μm . Jensen (2007) (fig. 7), ilustra a janela atmosférica do Espectro Eletromagnético onde estes intervalos são destacados. Objetos da superfície terrestre podem ser monitorados com sensores operando entre estas faixas do espectro. Deste modo, incêndios em florestas e atividades geotermiais podem ser captadas entre 3,0 e 5,0 μm , assim como as energias termiais emanadas de vegetais, solos e rochas, podem ser melhor monitoradas no intervalo de 8 a 14 μm .

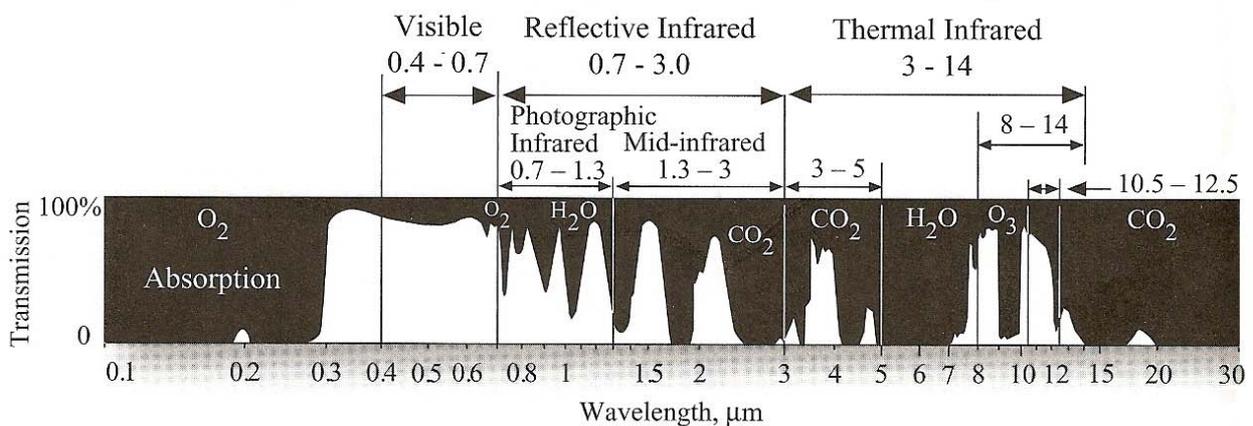


Figura 7 – Espectro Eletromagnético, com destaque para a radiação infravermelha.
Fonte: Jensen (2007)

Pelo princípio da conservação de energia, todo fluxo radiante incidente do sol nos materiais da terra (F_i) é igual ao somatório das quantidades do fluxo radiante refletido da superfície (F_r), do fluxo radiante absorvido pela superfície (F_a) e do fluxo radiante transmitido pela superfície (F_t). Então:

$$F_i = F_r + F_a + F_t \quad (1)$$

Dividindo-se cada variável da equação 1 pelo fluxo incidente F_i , teremos uma nova equação:

$$1 = r_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda \quad (2)$$

Onde $r\lambda$ é a reflectância hemisférica espectral, $\alpha\lambda$ a absorvância hemisférica espectral e $\tau\lambda$ a transmitância hemisférica espectral do terreno [Slater (1980) *Apud* Jensen (2007)].

Segundo a Lei da Radiação de Kirchoff, toda radiação absorvida pelos materiais terrestres é emitida ($\alpha\lambda = \varepsilon\lambda$). Por outro lado, se admitirmos a opacidade da maioria dos materiais terrestres, podemos considerar que o fluxo de radiação (transmitância) entre os materiais é muito pequeno e assumir que $\tau\lambda = 0$. Teremos então que:

$$1 = r\lambda + \varepsilon\lambda \quad (3)$$

Esta nova equação mostra uma relação inversa entre a emissividade e a reflectividade do fluxo radiante nos materiais terrestres, ou seja: quando uma aumenta a outra diminui. Assim, materiais com baixa reflectividade, tais como a água, as rochas e o solo, apresentam alta emissividade. Isto implica em que, aumentando-se a reflectância diminui-se a emissividade e vice-versa.

Desta forma, a emissividade térmica, ou radiação térmica, dos corpos terrestres, captada pelo sensor do satélite e transformada em DN (*digital number*, entre 0 e 255), pode nos dar, com certo grau de precisão, a natureza física do corpo emissor.

4. MÉTODO DE TRABALHO

A imagem ETM+ do Infravermelho Termal (TIR), cena de órbita 218 e linha 068, usada em nosso trabalho, foi adquirida pela NASA em 16 de agosto de 2001.

Apesar de dispor de duas imagens na banda 6 do infravermelho termal, entre 10,44 e 12,42 μm , (bandas 6L e 6H), de baixo ganho e alto ganho, respectivamente, resolvemos trabalhar com a de alto ganho porque, apesar de possuir um intervalo menor de DN (*digital number*) esta imagem apresenta uma alta resolução radiométrica. [LANDSAT-7 (2008)].

Para a extração da temperatura relativa do terreno, em unidade Kelvin, utilizamos a fórmula desenvolvida por Weng *et al.* (2004).

$$T_B = K_2 / \ln [(K_1/L_\lambda)+1] \quad (4)$$

Onde:

T_B = *Blackbody Temperature* ou *Brightness Temperature*;

K_1 e K_2 = São constantes de calibração do sinal, sendo igual a 666,09 $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{mm}^{-1}$ e 1282,71 K, respectivamente;

$L_{\lambda} = (0,0370588 \times \text{DN} + 3,2) = \text{Radiância Espectral}$, que converte o sinal DN em radiância. As constantes são inerentes à banda de alto ganho TIR (6H) da imagem do LANDSAT-7 ETM+ [LANDSAT- 7 (2008)].

Usamos o software ENVI 4.2 para transformar o DN em temperatura (T_B), através do módulo IDL. Em seguida fizemos a classificação de Regiões (ROI), neste mesmo software, definindo uma imagem classificada para valores de temperatura, em graus Kelvin.

As terceira etapa do trabalho foram desenvolvidas com o software ArcGis 9.2, onde procedemos a digitalização do Mapa de dolinas, através da identificação, tanto na imagem classificada quanto na imagem de alta resolução.

5. RESULTADOS

Dados obtidos no site da ANA (Agência Nacional de Águas) (2008), nos dão conta que, no ano em que a imagem foi adquirida (2001), a última precipitação pluviométrica, e máxima do ano, aconteceu no dia 17 de março, com uma marca de 32,5 mm. Como a imagem trabalhada foi adquirida no dia 16 de agosto de 2001 temos, exatamente, 5 meses de ausência de chuva.

Na Figura 8 vemos o resultado da Classificação (ROI) da imagem TIR ETM+ sobre a área de estudo. A grande quantidade de nuvens sobre a imagem de alta resolução nos impediu de fazer uma identificação visual mais acurada das dolinas por toda a área.

Foi necessária acuidade visual durante a digitalização pois, nem todas manchas fornecidas pela imagem classificada se referiam a dolinas: faixas de vegetação ou campos cultivados também forneciam o mesmo padrão de temperatura, ou seja, com aumento do centro para a borda. Por outro lado, percebe-se claramente na figura 9 a existência de provável área de encharcamento, com padrões de dolinas e drenagem associados, não detectados pelo método. Isto, possivelmente, devido à baixa resolução espacial da imagem TIR ETM+ utilizada.

A figura 10 mostra alguns exemplos dos principais resultados, em pares, da classificação e posterior digitalização de dolinas detectados pelo método. Em A e B verifica-se, nas figuras inferiores, um aglomerado de pequenas manchas, de dimensões reduzidas, dentro de áreas cultivadas. Neste caso, acompanhando o traçado da temperatura (figuras superiores), digitalizamos os conjuntos como uma única dolina, o que possivelmente ocorrerá no futuro pela proximidade das mesmas. Em C, canais de drenagem são alargados pela dissolução e favorecem o aparecimento de dolinas e, por fim, em D, algumas ilhas de vegetação mais desenvolvidas evidenciam a existência de uma maior concentração de água no solo.

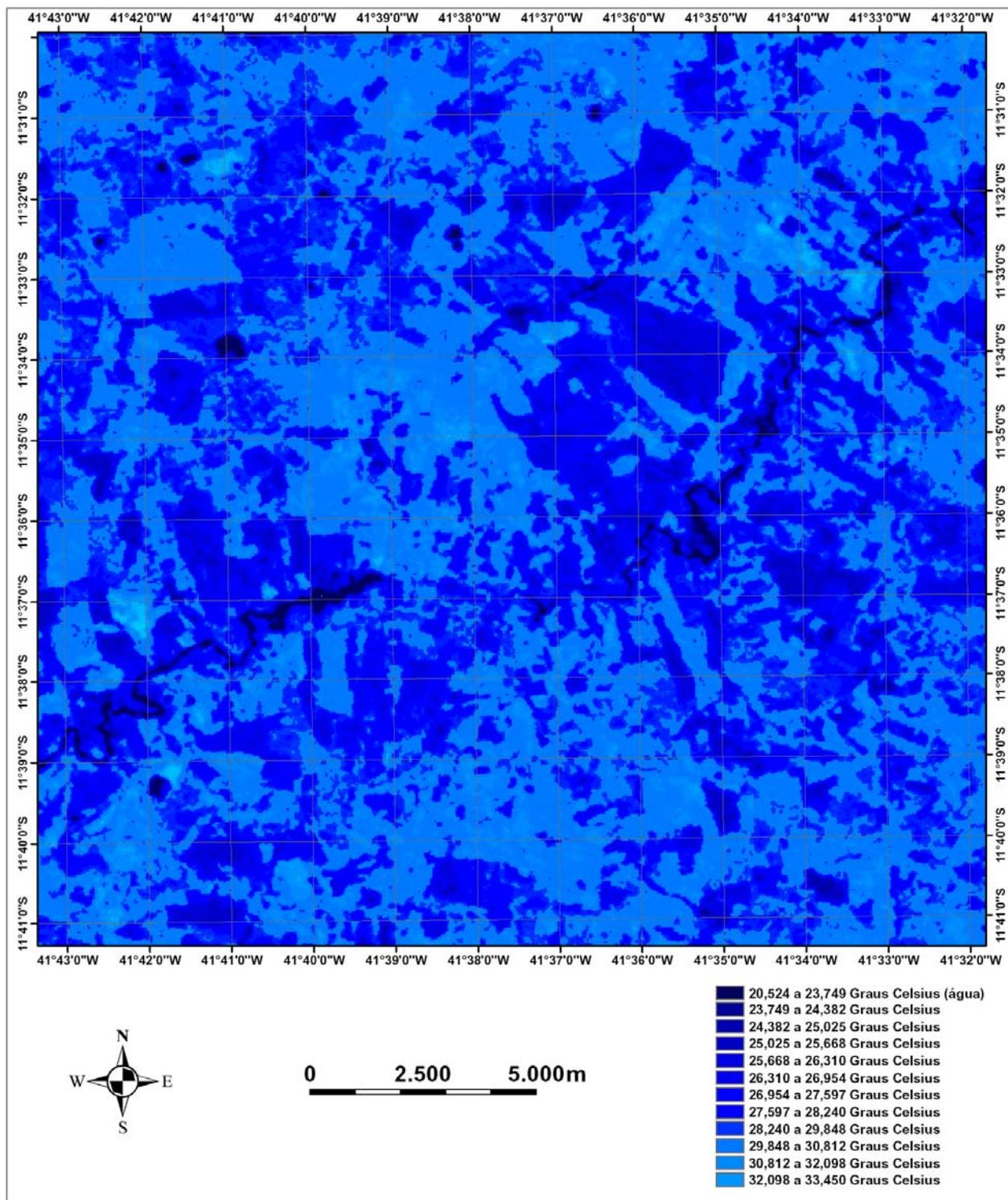


Figura 8 – Imagem Classificada em função da temperatura.

Os valores da temperatura nestas áreas digitalizadas variam, de dentro para fora, de 23,75° C a 29,85° C, o que podemos considerar como normal para a temperatura do solo seco na época do ano (agosto) e horário (12:43 h) em que a imagem foi obtida.



Figura 9 – Feições arredondadas no centro da figura à esquerda, evidenciando a existência de uma zona de encharcamento, com possível rede de drenagem associada, não detectada pelo método, à direita.

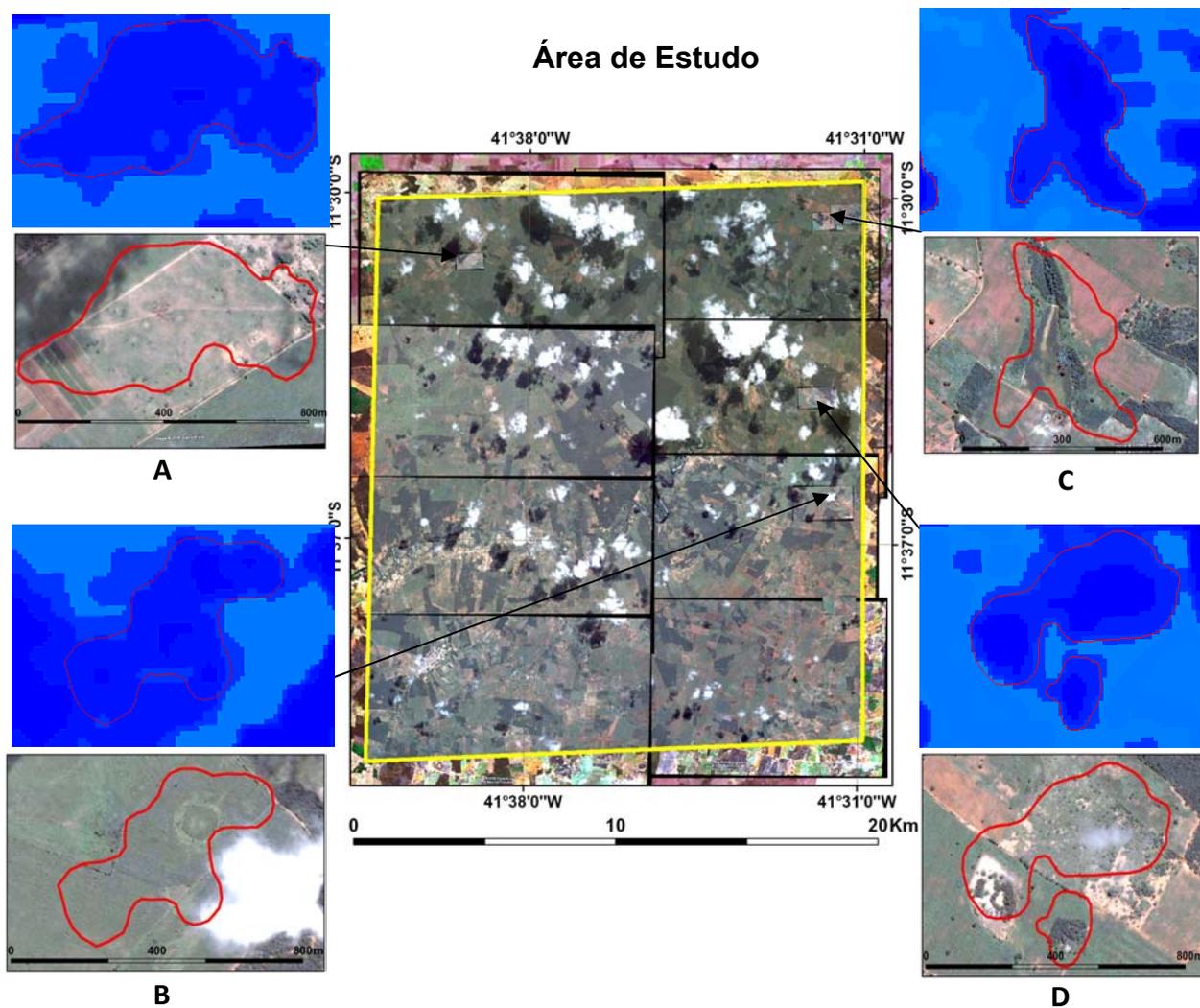


Figura 10 – Exemplos da classificação da Variação da Temperatura sobre o terreno. A) e B) Manchas claras no terreno identificam possíveis dolinas de dimensões reduzidas; C) Canais de drenagem e vegetação onde, possivelmente, há uma maior concentração e circulação de água; D) Ilhas de vegetação de formas arredondadas.

Em todos exemplos percebe-se os valores da temperatura aumentando de dentro para fora, variando de 24,85° C para 29,55° C

Também foi possível detectar-se os corpos de água (rios, aguadas e barragens) da região, com uma temperatura média variando entre 20,52° C e 23,73° C (Fig. 8).

A Figura 11 mostra o mapa de dolinas sobre a área de estudo, digitalizado a partir do mapa classificado de temperaturas. As manchas digitalizadas neste mapa totalizam cerca de 2% da área de estudada, o que consideramos um índice baixo em função daquelas dolinas de pequenas dimensões que aparecem na imagem de alta resolução espacial, mas que não foram detectadas na imagem TIR ETM+ de baixa resolução. Estas pequenas dolinas compõem, regionalmente, a grande maioria destas feições, devido à baixa precipitação pluviométrica que não favorece o desenvolvimento das mesmas.

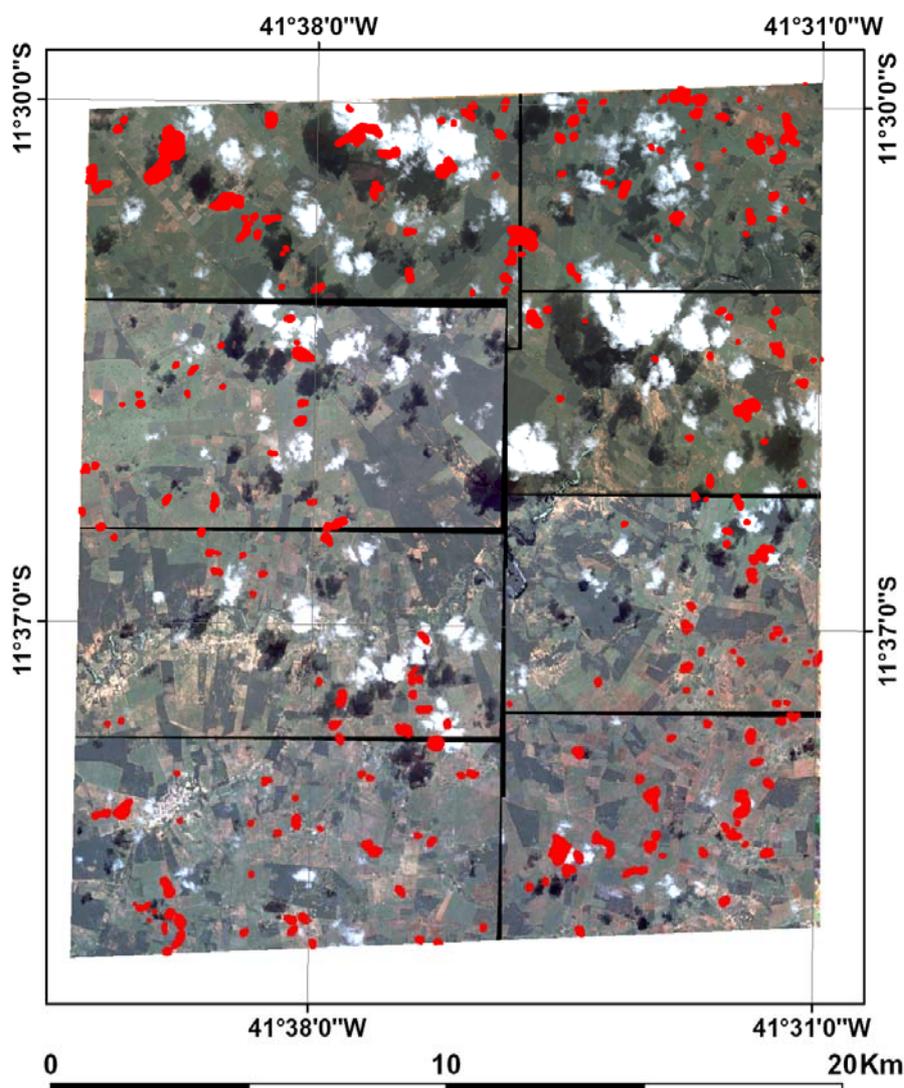


Figura 11 – Dolinas digitalizadas a partir da imagem de temperatura classificada.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelos resultados obtidos em nossa pesquisa podemos concluir que chegamos ao objetivo desejado, ou seja, mapear dolinas em terrenos cársticos com o uso de bandas de imagens adquiridas no infravermelho termal (TIR).

No entanto, verificamos que, apesar da qualidade superior do sinal da banda TIR de alto ganho (6H) da imagem TM+, a baixa resolução espacial ainda é um impecilho para a aplicação deste método em qualquer tipo de terreno cárstico: desde os menos aos mais evoluídos.

Na região de Irecê, por força de um fraco desenvolvimento das feições de dissolução cársticas, as dimensões da maioria das dolinas estão aquém das dimensões do pixel da banda TIR ETM+ (60 m), não sendo, portanto, detectadas pelo sensor.

Acredita-se que, em um futuro bem próximo, este problema deverá ser resolvido, haja vista a grande quantidade de satélites imageadores que estão sendo lançados anualmente, com aumentos significativos da resolução espacial para o sinal visível, e alguns com melhoras para o sinal infravermelho termal.

Por fim, acreditamos que este método será de grande utilidade quando se desejar obter a área estimada dos pontos de recarga em um aquífero cárstico, com fins a um modelamento hidrogeológico e quantificação da água subterrânea disponível.

BIBLIOGRAFIA

ANA, Agência Nacional da Águas.(2009). <http://hidroweb.ana.gov.br/hidroweb>. Último acesso em 23 de fevereiro de 2009.

ARAÚJO, T. L.; DI PACE, F.T. (2007). “*Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió-Al, com base em imagens TM – Landsat 5*” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, Abr. 2007, 1, pp. 3717-3724.

BOEING. (2007). <http://www.boeing.com/defense-space/space/bls/missions/worldview-1/> Acessado em 2008.

BOGGIONE, G. A. (2003). *Restauração de Imagens do Satélite Landsat-7*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 162 p.

FOLHES, M. T. (2005). “*Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos*”. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Goiás, Brasil, Abr. 2005, pp. 3009-3016.

- BONFIM, L. P. C.; ROCHA, A. J. D.; PEDREIRA, A. J.; MORAIS FILHO, J. C.; GUIMARÃES, J. T.; TRSCH, N. A. (1985) *Projeto Bacia de Irecê: Relatório Final*. Salvador: Convênio CPRM-SME.
- INDA, H. A. V.; BARBOSA, J. F. (1996). *Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia ao Milionésimo*. Escala 1:1.000.000. Salvador: CPM, 400 p.
- JENSEN, J. R. (2007). *Remote sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall Series, In: Geographic Information Science. 2nd Edition, Upper Saddle River, NJ, USA, 592 p.
- KRESIC, N. (1995). *Remote Sensing of Tectonic Fabric Controlling Groundwater Flow in Dinaric Karst*. Remote Sensing Environmental, Elsevier Science Incorporation, New York, NY, USA, 53, pp 85-90.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. (2005). “*Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, pp. 243-252.
- SILVA, H.M. (2005). *Sistema de Informações Geográficas do aquífero cárstico da micro-região de Irecê, Bahia: subsídio para a gestão integrada dos recursos hídricos das bacias dos rios Verde e Jacaré*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 145 p.
- SILVA, H. M.; LEAL, L. R. B. (2007). “*Controle estrutural das feições cársticas na bacia hidrogeológica dos rios Verde e Jacaré, micro-região de Irecê, Bahia*” in Resumos Expandidos, II Encontro Brasileiro de Estudos do Carste, São Paulo, SP.
- SILVA, J. W. F.; SANTOS, R. L. (2007). “*Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2*” in Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, Abr. 2007, pp. 1159-1166.
- SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. (2005). *Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – Landsat 5*. Revista Brasileira de Geofísica, 23(4): pp. 349-358.
- LANDSAT 7. (2008). *Science Data User's Handbook*. URL: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html , último acesso em 10 de julho de 2008.
- OLIVEIRA, F. A. R. (2001). *Detecção de depressões cársticas a partir de classificação espectral e morfológica de imagens de sensoriamento remoto na região do Alto Paracatu (MG)*. Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 55 p.
- PEREIRA, G.; CAMARGO, F. F.; OLIVEIRA, L. G. L.; GUERRA, J. B. (2006). “*Identificação do fenômeno de ilhas de calor para a região metropolitana de São Paulo através de dados*

provenientes do satélite Landsat 7 ETM+” in Anais do III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracajú, Sergipe, Brasil, Out. 2006..

WENG, Q., LU, D.; SCHUBRING, J. (2004). “*Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies*” in Remote Sensing of Environment, 89, pp. 467–483.

YANG, X.; ZHOU, C. (2000). “*Analysis of the complexity of remote sensing image and its role on image classification*” in IEEE, pp. 2179-2181.