

O Sensoriamento Remoto como instrumento para avaliação de Ilha de Calor Superficial em Cuiabá, MT, Brasil.

Aristóteles Teobaldo Neto^{1,2}

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim²

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Rua Cel. Peixoto, 17. Praça Bispo Dom José, Centro, Cuiabá, MT, Brasil
teobaldoneto2010@gmail.com

² Universidade Estadual Paulista FCT/UNESP
Rua Roberto Símonsens, 305 - Centro Educacional, Pres. Prudente - SP, 19060-900Presidente
Prudente, SP, Brasil,
mccta@fct.unesp.br

RESUMO

Desde o princípio, o objetivo do Sensoriamento Remoto era a obtenção de informações sobre os alvos da superfície terrestre. Sua evolução permitiu o desenvolvimento de sensores capazes de coletar informações no canal infravermelho termal, possibilitando conhecer a temperatura da superfície terrestre. Neste artigo, pretende-se avaliar a formação da Ilha de Calor Superficial na cidade de Cuiabá, MT, Brasil, bem como identificar a relação entre o uso/ocupação da terra com as temperaturas de superfície. A base de dados vetorial foi adquirida através do site IBGE e da Prefeitura Municipal de Cuiabá MT. Foram usados o aplicativo Google Earth e o SIG ArcGIS versão 10, onde foram processadas todas as imagens termais (banda 10) sem cobertura de nuvens do ano de 2014, geradas pelo sensor OLI/TIRS, a bordo do satélite Landsat 8. Ao final, foram gerados um Mapa de Temperatura Superficial para cada um dos cinco episódios. Ficou evidenciado que, apesar das condições naturalmente favoráveis às altas temperaturas na cidade de Cuiabá/MT, existe também um aumento provocado pela forma de uso e ocupação do espaço, responsável pela elevação de 10 a 15°C, provocando o surgimento de Ilha de Calor Superficial de forte magnitude, conforme apontam os Mapas de Temperatura Superficial dos 5 episódios analisados.

Palavra chave: Clima Urbano, Mapa de Temperatura de Superfície.

ABSTRACT

From the outset, the purpose of Remote Sensing was to obtain information about the targets of the Earth's surface. Its evolution allowed the development of sensors capable of collecting information in the thermal infrared channel, allowing to know the temperature of the terrestrial surface. In this article, we intend to evaluate the formation of the Surface Heat Island in the city of Cuiabá, MT, Brazil, as well as to identify the relationship between land use / occupation and surface temperatures. The vector database was acquired through the IBGE website and the Municipality of Cuiabá MT. We used the Google Earth application and the ArcGIS version 10 SIG, where all the 2014 cloudless thermal images (band 10) generated by the OLI / TIRS sensor on the Landsat 8 satellite were processed. At the end, A Surface Temperature Map was generated for each of the five episodes. It was evidenced that, despite the naturally favorable conditions to the high temperatures in the city of Cuiabá / MT, there is also an increase caused by the form of use and occupation of the space, responsible for the elevation of 10 to 15°C, provoking the appearance of Surface Heat Island Strong magnitude, as indicated by the Surface Temperature Maps of the 5 episodes analyzed.

Keyword: Urban Climate, Surface Temperature Map.

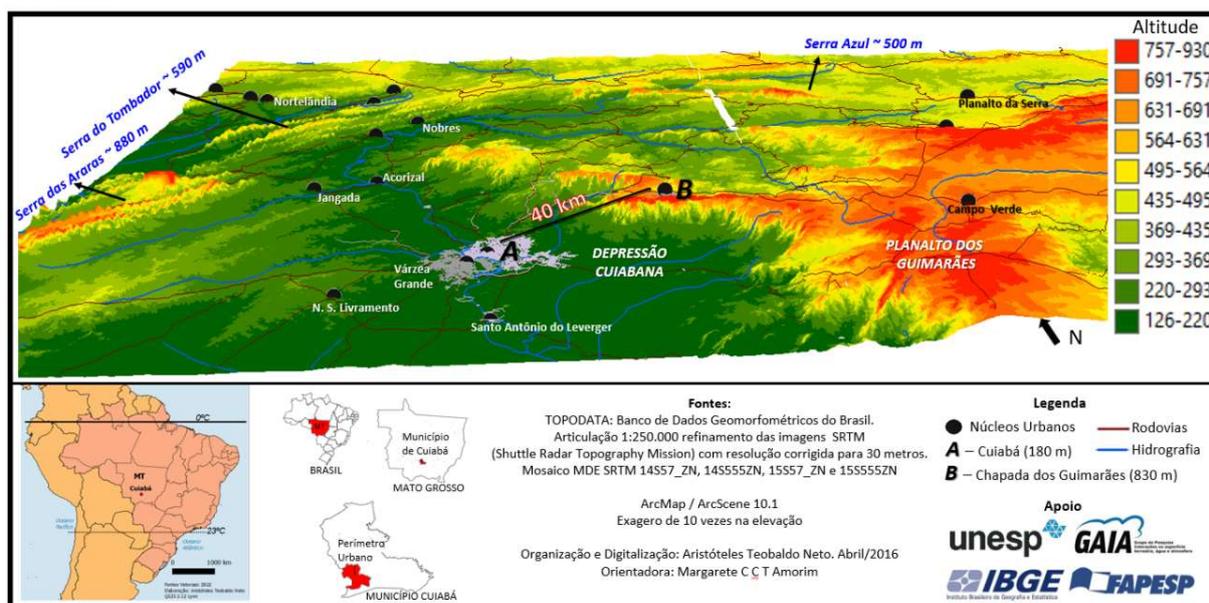
1. Introdução

A cidade de Cuiabá/MT faz parte da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá¹ e somada a cidade de Várzea Grande/MT (conurbadas) estima-se o total de 856.706 habitantes (IBGE, 2016). As características geoambientais particulares desta localidade (Figura 1) são responsáveis pela elevação natural das temperaturas. Em posição geocêntrica na América do Sul, está distante da influência das massas de ar marítimas. O relevo de baixas altitudes é classificado como Depressão Cuiabana (ROSS, 1990). A média altimétrica é de aproximadamente 180 metros e a dinâmica de ventos são os fatores naturais que acentuam as altas temperaturas.

Enquanto a velocidade média anual do vento em Cuiabá é de, aproximadamente, 1,5 m/s, na Chapada dos Guimarães a velocidade média fica em torno de 3,5m/s atingindo frequentemente valores de até 5m/s. (MAITELLI, 2005 p. 243)

Para exemplificar a importância dessa característica natural, com uma distância inferior a 40 quilômetros, em linha reta a partir da área urbana de Cuiabá, a cidade de Chapada dos Guimarães tem uma redução natural de cinco graus na temperatura, devido à diferença altimétrica.

Figura 1 - Localização e situação geoambiental da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá.



O Clima não se explica apenas pelos fatores naturais. É também uma construção social e se explica a partir da conjugação dos fatores naturais e sociais. Os eixos rodoviários de Cuiabá e Várzea Grande são os principais canais de vazão de praticamente toda a cadeia produtiva do estado de Mato Grosso, com destino aos portos do sul e sudeste. O fluxo intenso de caminhões e carretas é relevante do ponto de vista da poluição atmosférica, mas também do aumento das temperaturas. Além disso, a supressão da vegetação natural, pavimentação asfáltica, materiais construtivos inadequados ao clima tropical, densa ocupação urbana, ocupações de áreas irregulares, são características que fazem parte do modelo de urbanização

¹ Criada em 2009 por lei estadual complementar n. 359 de 27 de maio de 2009, atualizada pela n. 577 de 19 de maio de 2016, a RMVRC é composta pelos municípios: Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger, Acorizal e Chapada dos Guimarães.

brasileira, responsável pelo aumento das temperaturas e, conseqüente, formação do fenômeno conhecido como Ilhas de Calor Urbanas.

Pode-se afirmar que a conjugação das condições naturais e sociais potencializam a formação das Ilhas de Calor Urbanas. Na literatura são admitidos três tipos de ilhas de calor: atmosférica inferior, atmosférica superior e superfície (ARNFIELD, 2003; OKE, 1978). Neste artigo, pretende-se avaliar o potencial de formação de Ilha de Calor Superficial na cidade de Cuiabá MT, bem como identificar a relação entre o uso e as temperaturas de superfície.

2 – Metodologia de trabalho

Para a realização dos mapas, foram usados dados do tipo raster e vetorial. O gerenciamento e processamento foram realizados através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS versão 10. Foram selecionadas todas as imagens termais, sem cobertura de nuvens, no ano de 2014 (Figura 4), que correspondem à banda 10, canal infravermelho termal, geradas pelo sensor OLI/TIRS (*Operacional Land Imager / Thermal Infrared Sensor*), a bordo do satélite Landsat 8, órbita 226, ponto 71, passagem às 9h45min (hora local).²

Foram utilizadas as constantes de calibração do sensor do satélite para conversão dos números digitais em energia radiante, representadas em tons de cinza. A conversão dos níveis de cinza em valores de radiância espectral, para o Landsat 8, foi realizada a partir da seguinte equação (1), cuja legenda é apresentada na Figura 2:

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

Figura 2 - Elementos da fórmula de conversão para radiância³.

L_{λ}	Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m ² * srad * μm))
M_L	Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_MULT_BAND_x, onde x é o número da banda)
Q_{cal}	Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN)
A_L	Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (RADIANCE_ADD_BAND_x, onde x é o número da banda)

Fonte: United States Geological Survey⁴.

Em seguida, a partir da energia radiante foi possível obter a temperatura dos alvos, em Kelvin, por meio da seguinte equação (2), cuja legenda é apresentada na Figura 3:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

Figura 3 - Elementos da fórmula de conversão para Kelvin⁵.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin
$K2$	Constante de calibração 2
$K1$	Constante de calibração 1
L	Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * mm).

Fonte: United States Geological Survey.

² Dados disponibilizados gratuitamente pela USGS no portal <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em março/2016.

³ Os valores de radiância espectral correspondentes aos elementos da fórmula são encontrados no arquivo metadados que esta em anexo em conjunto com os arquivos das imagens.

⁴ Disponível em <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php> Acesso em 18/08/2015

⁵ Os valores das constantes de calibração correspondentes na fórmula são encontrados no arquivo metadados que esta em anexo em conjunto com os arquivos das imagens.

Após esses procedimentos, aplicou-se a fórmula para converter a temperatura Kelvin em graus Celsius, subtraindo os valores de temperatura de cada pixel da imagem por 273,15.

Os setores censitários foram obtidos gratuitamente através do site IBGE⁶. O perímetro urbano foi vetorizado a partir da interpretação da Lei Municipal n. 4719 de 30/12/2004 da Câmara Municipal do município de Cuiabá/MT. Para analisar o uso do solo, foram usadas imagens do Google Earth e fotografias do Street View. Também foram consultados dados meteorológicos cedidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A intensidade das ilhas de calor de superfície, foi avaliada a partir da diferença de temperaturas máxima e mínima na superfície, para cada episódio.

3. Resultados e Discussão.

3.2 A Ilha de Calor Superficial na cidade de Cuiabá.

A superfície resulta do conjunto das mais diversas paisagens (naturais e modificadas), vistas de cima em ângulo perpendicular. O fenômeno da urbanização é uma forma de modificação da superfície que, devido à forma e ao modelo padrão do desenvolvimento das cidades em todo o mundo, via de regra, provoca o aumento das temperaturas. A evolução do Sensoriamento Remoto, em especial o desenvolvimento dos sensores termais do satélite Landsat 8, permitem quantificar as diferentes temperaturas de cada parte da superfície terrestre de, pelo menos, 30 metros quadrados⁷. Isto significou uma revolução, do ponto de vista do aparato de insumos tecnológicos disponíveis aos estudos do Clima Urbano por inúmeros motivos, entre eles pela possibilidade de aferir a temperatura de forma contínua na superfície. Isto favoreceu a comparação de paisagens densamente ocupadas e urbanizadas com paisagens naturais, rurais e pouco ou não ocupadas. Isto permite estimar o poder que uma cidade pode ter para criar um clima especificamente urbano. As temperaturas de superfície respondem pela formação das Ilhas de Calor de Superfície, assim como as temperaturas do ar, respondem pela formação das Ilhas de Calor Atmosférica. Uma Ilha de Calor ocorre quando o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes. (GARTLAND, 2010, p.9).

Esta configuração ficou bem evidente nos episódios de 16/05, 03/07 e 04/08 do ano de 2014, conforme pode-se verificar na Figura 4, que mostra o entorno das áreas urbanizadas com temperaturas menores.

Porém, nos episódios de 20/08 e 05/09 ocorreu o inverso. As áreas rurais apresentaram temperaturas superiores quando comparadas com as áreas urbanizadas. Ugeda Júnior (2011, p. 318) explica este fenômeno:

O solo coberto por vegetação, perde energia através da evaporação e da evapotranspiração, que transforma calor sensível em calor latente e o exporta para a atmosfera sem que ocorra aumento de temperatura. Assim, a temperatura do campo, geralmente, é menor do que a da cidade, pois, os elementos citados, evaporação e evapotranspiração, garantem que o campo, ao mesmo tempo em que recebe energia, irá liberar uma parte dessa energia sem gerar aumento de temperatura. Essa característica é determinante para que o campo permaneça mais aquecido do que a cidade nos períodos de estiagem prolongada, pois, com queda brusca de umidade do solo e, conseqüentemente, com declínio da vegetação, da evaporação e da evapotranspiração, ou com solo exposto, a temperatura da superfície no campo tende a ser mais elevada do que as registradas na cidade.

⁶ Disponíveis no site IBGE http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm, em Malhas Territoriais – Malhas de Setores Censitários – Censo 2010. Acesso em 15/11/2016

⁷ De acordo com a USGS as bandas 10 e 11 são coletadas com resolução de 100 metros mas reamostradas para 30 metros, afim de garantir a compatibilidade com as bandas multiespectrais (bandas 1 a 7) do sensor OLI, também de 30 metros. USGS (<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>)

Figura 4 – Mapas de Temperaturas Superficiais: Cuiabá MT 2014

Projeção: UTM Datum: WGS84 Zona: 21S
 Perímetro Urbano (Lei Municipal 4.719 de 30/12/2004)
 Raster - banda 10, sensor OLI/TIRS (Thermal Infrared Sensor), satélite Landsat 8, órbita 226, ponto 71, passagem as 9:45 (hora local aproximada)

Aristóteles Teobaldo Neto – Nov/2016
 Orientadora: Margarete C C T Amorim

Legenda:

-  Rio Cuiabá
-  Perímetro Urbano
-  Setores Urbanos
-  Hidrografia

Apoio:



IBGE
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística



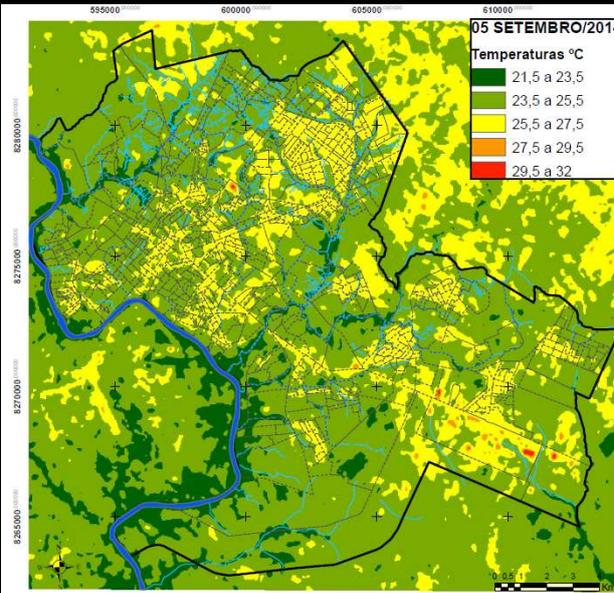
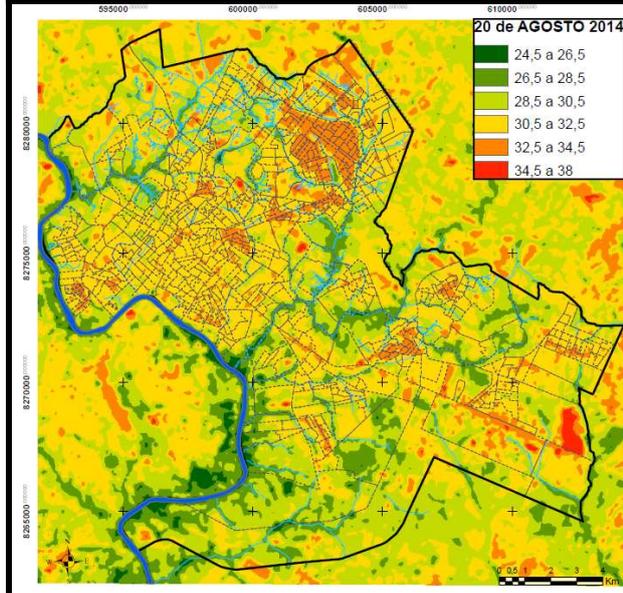
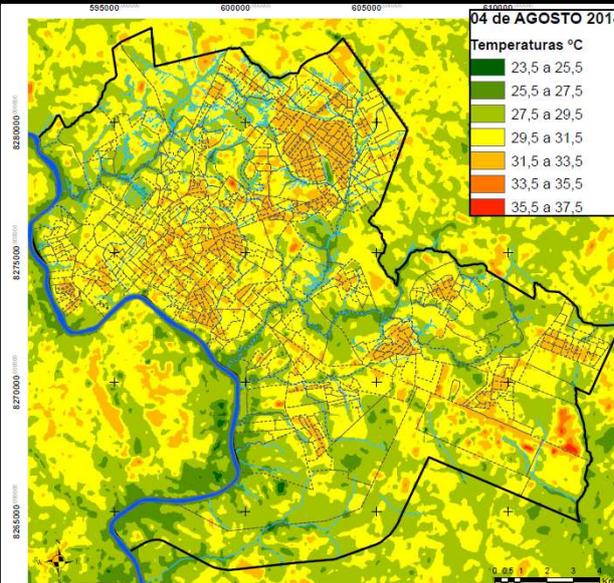
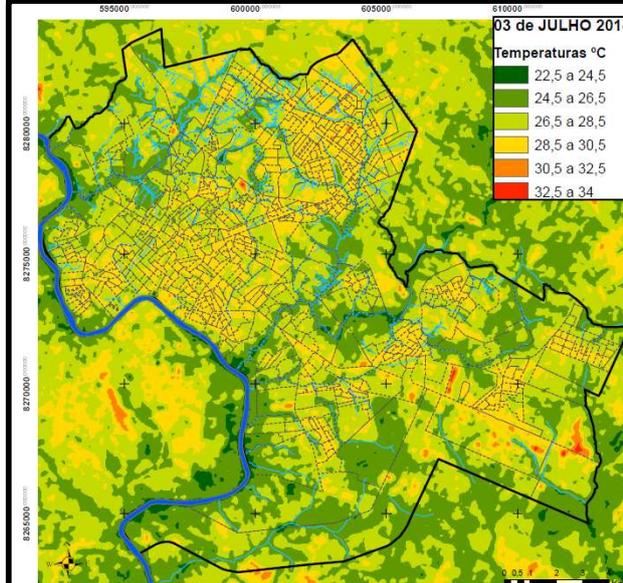
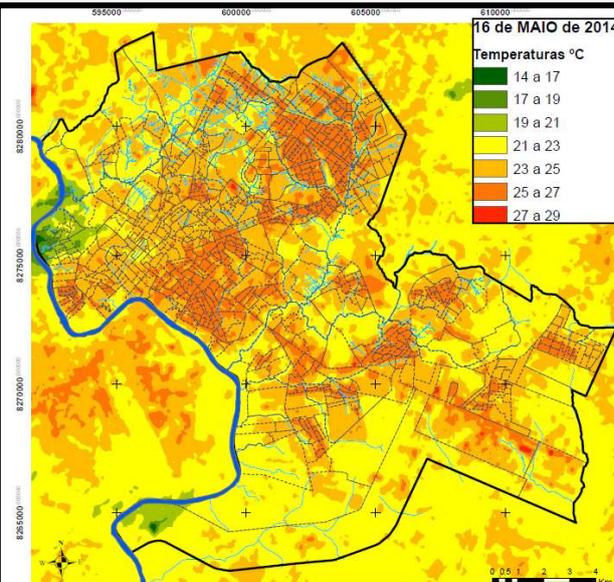
FAPESP



unesp

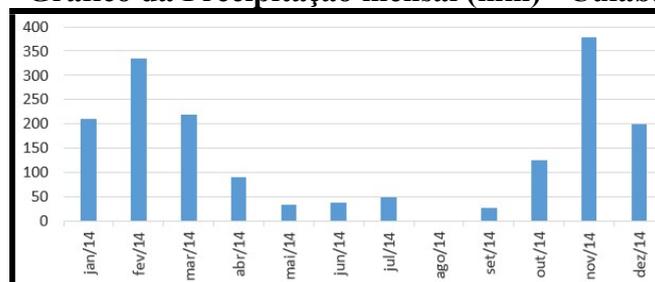


GAIA
Grupo de Pesquisa em Análises de Imagens Remotas, Sigas e Aplicações



De fato, os episódios fazem parte da estação mais seca, como se observa no gráfico das ocorrências de precipitação no ano de 2014, na figura 5.

Figura 5 – Gráfico da Precipitação mensal (mm) - Cuiabá MT 2014

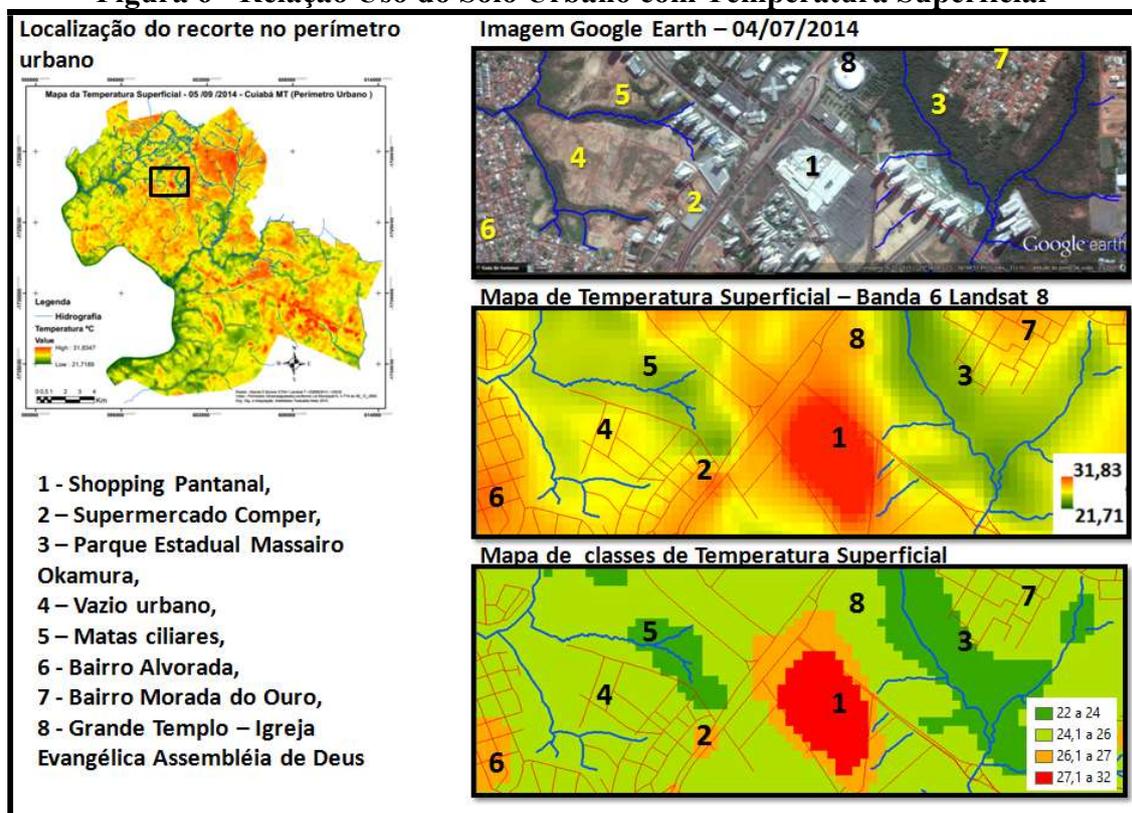


Fonte: Estação meteorológica INMET MT A901 - 2014

Na superfície, as áreas de solo exposto ou com cobertura rala de vegetação, tanto na área considerada rural, como dentro do perímetro urbano, são as que apresentaram as maiores temperaturas. Destaca-se também as áreas construídas para fins comerciais, industriais e residenciais, densamente ocupadas e pavimentadas.

Por outro lado, as áreas vegetadas são as responsáveis pela redução das temperaturas. Cada tipo de cobertura possui um albedo diferenciado que refletirá diretamente na temperatura do alvo. Na Figura 6 é apresentada a relação entre o tipo de cobertura com a temperatura:

Figura 6 - Relação Uso do Solo Urbano com Temperatura Superficial⁸



Fonte: Raster - banda 10, sensor OLI/TIRS, satélite Landsat 8, órbita 226, ponto 71
 Vetor - Perímetro Urbano (ajustado) conforme Lei Municipal N. 4.719 de 30_12_2004.
 Org. Dig. e Adaptação: Aristóteles Teobaldo Neto 2015.

⁸ O polígono retangular no mapa de localização é aproximado, não guarda proporção exata em escala.

As maiores temperaturas (acima de 26 °C) foram registradas pelas ocupações comerciais, residenciais e solo exposto (vazios urbanos). As altas temperaturas das edificações comerciais: Shopping (Figura 6, ponto 1) e Supermercado Comper (Figura 6, ponto 2), estão associadas ao tipo de cobertura, provavelmente em alumínio. Destaque para o Parque Estadual Massairó Okamura (Figura 6, ponto 3), com registro de 23 °C em contraste com o Shopping, com registro de 30,5 °C, marcando uma diferença de mais de 7 °C entre uma distância de menos de 400 metros. Já o bairro Alvorada (Figura 6, ponto 6 e Figura 7), tem característica de intensa ocupação urbana combinada com a precariedade de estruturas urbanas como: falta de calçamento, residências de baixo padrão construtivo, com pouco ou nenhum espaço entre elas. Além disso, a escassa vegetação arbórea nas calçadas e no interior dos lotes, associada à presença de coberturas de fibrocimento ou amianto, são responsáveis pelo aumento da temperatura superficial. Tratam-se de características muito comuns em bairros de baixa renda que contribuem para a geração de características climáticas particulares, diferentes do entorno rural, e que se caracterizam pela formação das ilhas de calor, desfavoráveis ao conforto térmico.

Na figura 7, que mostra a "Esquina da Rua Fortaleza com a Rua Bahia" é possível verificar a área de vazio urbano em segundo plano e, ao fundo, a verticalização residencial nos arredores do Shopping Pantanal.

Figura 7: Bairro Alvorada: Padrão construtivo das residências.



4. Conclusões

Neste estudo ficou evidente a importância das imagens térmicas no estudo das ilhas de calor superficiais, revelando-se um insumo fundamental e extremamente favorável às pesquisas, principalmente nos últimos tempos quando os insumos de sensoriamento remoto estão disponíveis de forma gratuita, ao contrário de tempos atrás quando eram restritos e comercializados com custos elevados. Neste recorte espacial, no ano de 2014, foram identificados cinco episódios, onde verificaram-se diferenças térmicas que variaram de 10,5°C a 15°C. (Figura 4). As maiores temperaturas estão associadas ao solo exposto ou com vegetação rasteira que no entorno do perímetro urbano pode estar destinado a pastagens, extração mineral ou preparo para algum tipo de cultura. Apesar da legislação e fiscalização,

ainda é possível encontrar áreas com queimadas, que intensificam as Ilhas de Calor, além da poluição.

Dentro do perímetro urbano este tipo de ocorrência está associado a novos loteamentos ou áreas vazias destinadas à especulação imobiliária. Destacam-se também as coberturas de aço ou galvanizadas, em especial na área do Distrito Industrial e em grandes estabelecimentos e/ou galpões comerciais.

Por fim, as regiões com padrões urbanísticos precários, sem vegetação e com residências de baixo padrão construtivo, com cobertura de fibrocimento, figuram entre as regiões que registraram as maiores temperaturas.

A vegetação densa e média, juntamente com lagos e cursos d'água são as superfícies responsáveis pelas temperaturas mais baixas. Merecem destaques os rios urbanos e suas respectivas margens, quando bem vegetadas, bem como os parques urbanos, lagoas e áreas urbanas bem vegetadas.

Os mapas de temperaturas superficiais, conjugados com as imagens Google Earth para avaliação do uso do solo, revelaram-se como importantes instrumentos no diagnóstico do clima urbano. As menores temperaturas estiveram associadas às áreas mais naturais, já as maiores temperaturas decorreram da intervenção humana, sendo esta responsável pelo acréscimo de 10 °C a 15 °C na temperatura superficial de Cuiabá MT.

Agradecimentos

Agradecimento especial ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) pelo apoio na elaboração deste trabalho, na forma da licença capacitação e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pela concessão da bolsa de estudos.

Referências Bibliográficas

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, v. 23, n. 01, p. 1-26, 2003.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos. 248p. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Download. Geociências. Disponível em <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm> Acesso em 16/11/2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Estações de dados. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal>> Acesso em 16/11/2016.

MAITELLI, Gilda Tomasini. O Clima. In **Geografia de Mato Grosso: Território, Sociedade e Ambiente**. Gislaene Moreno e Tereza Cristina Souza Higa (Orgs.) Cuiabá: Entrelinhas, 2005. P. 238-249.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo, Ed. Contexto, 1990.

UGEDA JÚNIOR, José Carlos. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 383 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Campus de Presidente Prudente/SP. 2012