

O CLIMA URBANO DE PENÁPOLIS-SP ATRAVÉS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DE ÍNDICES RADIOMÉTRICOS

RESUMO

No Brasil, estudos direcionados à climatologia urbana têm avançado no tocante às metodologias de identificação e mensuração de ilhas de calor superficiais, sobretudo a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tais como a aplicação dos índices radiométricos que possibilitam a identificação e a separação de diferentes alvos. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo identificar e analisar as ilhas de calor de superfície na cidade de Penápolis-SP, procurando estabelecer relações entre temperatura dos alvos e os índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e NDBI (Normalized Difference Built-up Index). Os resultados demonstraram significativa correlação entre a temperatura da superfície e os tipos de uso e cobertura da terra. Observou-se que as temperaturas mais elevadas se localizaram onde havia construções com coberturas metálicas e solos expostos, que também corresponderam às áreas cujos valores do NDVI foram negativos, próximos a -1, e os valores do NDBI positivos, próximos a +1.

Palavras-chave: Clima urbano, índices radiométricos, temperatura da superfície.

ABSTRACT

In Brazil, urban climatological studies with focus on methods to identify and measure urban heat islands have grown, especially regarding the use of remote sensing techniques, such as the application of radiometric indexes that helps to identify and separate different targets. Based on this, this study aimed to identify and analyze the surface heat island in Penápolis-SP, seeking to establish relationships between the temperature of targets and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDBI (Normalized Difference Built-up Index) indexes. The results showed significant correlation between the surface temperature and the types of land use and land cover. It was observed that higher temperatures were measured where there were buildings with metal roofing and bare soil, which corresponded to areas where NDVI values were negative, near -1, and the NDBI values were positive, near +1.

Keywords: Urban Climate, radiometric indexes, surface temperature.

RESUMEN

En Brasil, los estudios dirigidos a la climatología urbana han avanzado con respecto a las metodologías de identificación y medición de las islas de calor, especialmente por medio del uso de técnicas de teledetección, tales como la aplicación de los índices radiométricos que permiten la identificación y separación de los diferentes albos. En este sentido, este estudio tuvo como objetivo identificar y analizar las islas de calor de superficie en la ciudad de Penápolis-SP, buscando establecer relaciones entre la temperatura de los albos y los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y NDBI (Normalized Difference Built-up Index). Los resultados mostraron una correlación significativa entre la temperatura de la superficie y los tipos de uso y cobertura de la tierra. Se observó que las temperaturas más altas se localizaron en construcciones con coberturas de metal y suelo expuesto, que también corresponden a las áreas cuyos valores NDVI son negativos, cerca de -1, y los valores positivos NDBI cerca de 1.

Palabras claves: clima urbano, índices radiométricos, temperatura de la superficie.

Janaína Lopes Moreira
Mestranda da Faculdade de
Ciências e Tecnologia -
Universidade Estadual Paulista
- UNESP Presidente Prudente -
São Paulo - Brasil
janainamoreira1991@hotmail.c
om

**Profa. Dra. Margarete
Cristiane de Costa Trindade
Amorim**
Faculdade de Ciências e
Tecnologia - Universidade
Estadual Paulista - UNESP
Presidente Prudente - São
Paulo - Brasil
mccta@fct.unesp.br

INTRODUÇÃO

A cidade é um local de especialidades climáticas resultantes, principalmente, das interferências da forma e da estrutura urbana no sistema de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera. As propriedades térmicas dos materiais presentes nas cidades, associadas às atividades humanas nelas exercidas emitem grande quantidade de radiação eletromagnética, o que altera o ritmo de ganho e perda de energia, resultando em anomalias térmicas e higrométricas, isto é, diferenças de temperatura e umidade entre o urbano e o rural e/ou áreas intraurbanas, formando, conseqüentemente, bolsões de ar denominados de ilhas de calor.

Essas alterações na atmosfera urbana são ainda mais intensas e prejudiciais nas cidades de países tropicais, pois são ambientes que possuem naturalmente características climáticas que tendem ao desconforto, as quais são agravadas pelo rápido e recente processo de urbanização baseado em um planejamento urbano inadequado, que tem provocado o aumento de problemas de saúde, decorrentes, sobretudo, do aumento da temperatura.

As ilhas de calor urbanas resultam das alterações do uso e cobertura da terra devido à urbanização, uma vez que, neste processo a cobertura vegetal é substituída por um conjunto heterogêneo de materiais não-evaporativos e não-porosos, tais como concreto e asfalto, que dificultam a infiltração das águas pluviais e aumentam a absorção da radiação eletromagnética (JENSEN, 2009).

Portanto, a qualidade térmica urbana depende fortemente das propriedades termofísicas dos materiais construtivos, tais como densidade, textura e cor, que determinam a capacidade e a quantidade de reflexão e absorção da radiação eletromagnética, que por sua vez, repercute diretamente na temperatura do ar, gerando o aquecimento. Logo, pode-se afirmar que, as elevadas temperaturas no ambiente urbano estão associadas a certos tipos de superfície, especialmente, aquelas que possuem baixo índice de albedo (BARBIRATO et al., 2007; JENSEN, 2009).

Nos últimos anos, no Brasil, estudos direcionados à climatologia urbana têm avançado no que diz respeito às metodologias de identificação e mensuração de ilhas de calor, principalmente, a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto, que possibilitam o conhecimento das características térmicas da superfície, bem como o acesso às informações de uso e cobertura da terra, o que tem contribuído para a compreensão das relações existentes entre as anomalias térmicas e as características urbanas (AMORIM, et al., 2009; MENDONÇA, DUBREUIL, 2005).

A aplicação de índices radiométricos tem colaborado para isso, visto que causa o destaque de feições, fornecendo parâmetros que possibilitam a identificação e a separação de diferentes alvos, tais como vegetação e área edificada.

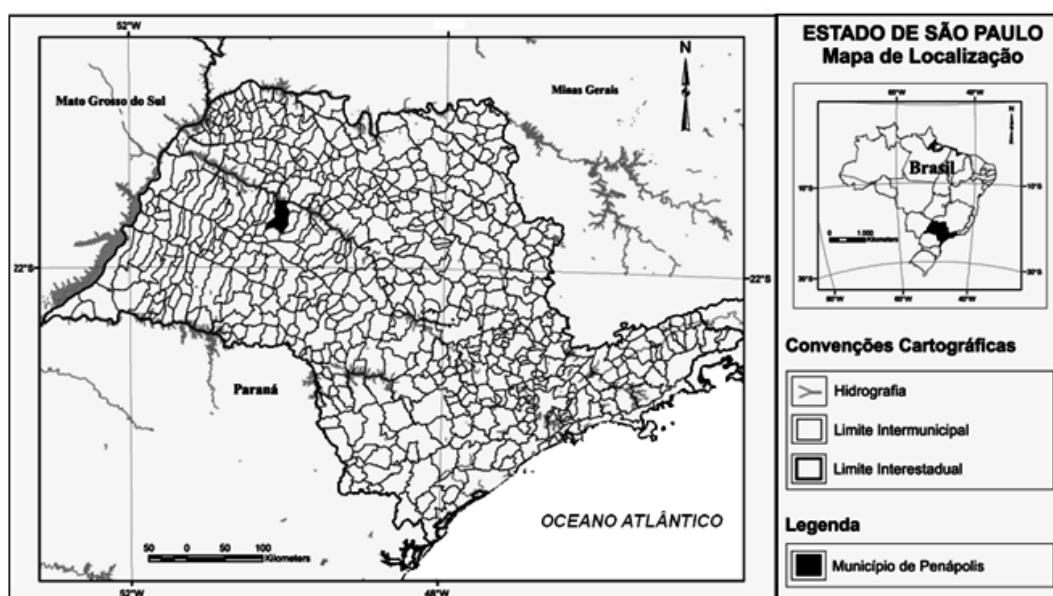
Assim, as inovações tecnológicas têm proporcionado novas formas de observação e mensuração das ilhas de calor, o que tem permitido melhor compreensão de suas causas e dinâmicas e o desenvolvimento dos estudos dessa natureza. No entanto, vale ressaltar que, os diferentes métodos de investigação das ilhas de calor definem seus tipos, podendo ser classificadas em: ilha de calor de superfície (identificadas a partir das temperaturas dos alvos) e ilha de calor atmosférica (identificadas a partir das temperaturas do ar).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo identificar e analisar as ilhas de calor de superfície na cidade de Penápolis-SP, procurando estabelecer relações entre temperatura dos alvos e os índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e NDBI (Normalized Difference Built-up Index), visando à compreensão das interferências do uso e cobertura da terra no ambiente climático intraurbano.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Penápolis localiza-se no noroeste do estado de São Paulo (Figura 1) entre os paralelos 21°25' de latitude sul e 50° 04' de longitude oeste, com área de aproximadamente 711 Km², altitude de 416 metros e 58.510 habitantes, sendo que 55.882, ou seja, 95% da população residem na área urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS, 2015; CENSO DEMOGRÁFICO, 2010).

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PENÁPOLIS NO ESTADO DE SÃO PAULO.



Fonte: IBGE. Org. Moreira (2013).

A ocupação da região se intensificou a partir de 1880, com a procura por novas terras agricultáveis no interior paulista devido ao aumento do comércio do café tanto pelo mercado interno quanto externo. Sendo assim, a alta no preço do café tornou as terras do noroeste paulista atrativas, incentivando frentes populacionais que acabaram ocupando a região, incorporando-a ao ciclo do café (PREFEITURA DE PENÁPOLIS, 2014).

No entanto, foi em 1997, com a notícia da instalação da estrada de ferro Noroeste do Brasil, que correntes migratórias mais significativas migraram para a região. Com a chegada dos trilhos da ferrovia na nova localidade, em março de 1908, novos moradores foram atraídos e em dezembro de 1909, o até então patrimônio de Santa Cruz do Avandava foi elevado a distrito de paz de Penápolis, em homenagem ao Ex-Presidente da República, Afonso Augusto Moreira Penna. Posteriormente, em 1913, o Distrito de Paz de Penápolis foi elevado à categoria de município com a denominação de Penápolis (IBGE CIDADES, 2015).

Portanto, com base no histórico de ocupação do município, verifica-se que Penápolis, assim como grande parte das cidades do noroeste paulista, passou por um rápido processo de ocupação, vinculado principalmente à implantação da ferrovia e a ocupação de novas terras para a cultura cafeeira, o que conseqüentemente, gerou grande desmatamento da vegetação nativa para o estabelecimento das plantações.

No que se refere ao cenário atual, Penápolis é identificada como cidade de pequeno porte, porém exerce função de cidade pólo para alguns pequenos municípios do seu entorno, que demandam de infraestruturas ali contidas, sobretudo de comércio e serviços. Sua economia baseia-se na plantação de cana-de-açúcar e na agroindústria derivada dessa planta, que tem proporcionado o aumento do produto interno bruto do município em detrimento de sua qualidade ambiental (FRAGA et al., 2014).

Mesmo possuindo o título do Programa Município Verde e Azul e oferecendo 100% de sua água tratada e distribuída e 100% de esgoto coletado e tratado, a cidade apresenta sérios problemas de degradação ambiental, principalmente no tocante aos cursos d'água, os quais apresentam ausência de mata ciliar, e conseqüentemente, processos de erosão e assoreamento (CONSTANTINO, 2014).

A urbanização do município é resultado de um processo rápido pautado em um planejamento urbano inadequado e ineficaz, o qual seguindo as lógicas e interesses do setor imobiliário, gerou a ocupação de áreas periféricas e a formação de diversos vazios urbanos. Deste modo, a malha urbana apresenta descontinuidades e é marcada pela heterogeneidade, uma vez que apresenta áreas com alta densidade de construções, baixo índice de cobertura vegetal arbórea e lotes pequenos, em grande parte associadas a bairros residenciais populares; e áreas compostas por praças e parques com vegetação rasteira e resquícios de vegetação arbórea próximos aos fundos de vale e cursos d'água, encontrados em bairros de alto padrão construtivo.

Em decorrência disso, em estudo realizado por Silva et. al. (2002), o município apresentou diferenças significativas na distribuição de temperatura entre a área urbana e rural, o que configurava a formação de ilha de calor, a qual se expressou mais intensamente no período noturno. Assim, a partir disso, optou-se pelo aprofundamento do estudo, através do auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, que permitiram estabelecer correlações relevantes entre as características de uso e ocupação da terra e a ilha de calor de superfície no município.

PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

As cartas elaboradas nesse trabalho foram geradas a partir do uso das bandas espectrais das imagens do Landsat 8, capturadas no dia 27 de abril de 2014 e disponibilizadas gratuitamente no site da USGS¹. O Landsat 8 opera com dois sensores imageadores: o OLI (Operational Land Imager), com nove bandas espectrais, sendo oito com resolução espacial de 30 metros e uma pancromática com resolução de 15m; e o TIRS (Thermal Infrared Sensor) com duas bandas com resolução espacial de 100m, porém processadas e disponibilizadas com 30m (USGS, 2013).

Após a obtenção das imagens foram calculados através do software ArcGis os índices radiométricos NDVI e NDBI para o destaque das feições da vegetação e da área edificada, respectivamente. Os índices radiométricos se baseiam em cálculos matemáticos de bandas espectrais, elaborados a partir do conhecimento das respostas dos alvos presentes na área urbana à radiação eletromagnética. Desta forma, a combinação de algumas bandas, de acordo com a absorção e reflexão de alguns comprimentos de onda do espectro eletromagnético, gera o realce do alvo desejado.

O princípio do NDVI baseia-se no processo de interação entre a radiação eletromagnética e a cobertura vegetal, em que os componentes químicos e estruturais das folhas geram propriedades espectrais. De maneira geral, ocorre a absorção da radiação na região espectral do vermelho pelos pigmentos fotossintetizantes e o espalhamento ou reflectância na região do infravermelho próximo devido à estrutura foliar interna (SARTORI et al., 2009; PONZONI; SHIMABUKURO, 1957).

Logo, o cálculo pauta-se na diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, representada na equação 1

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (1)$$

¹ Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

Os valores dessa operação estão contidos em uma escala entre -1 e +1 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Áreas com valores próximos a -1 revelam a presença de vegetação com estresse hídrico ou áreas construídas, já áreas com valores próximos a +1 correspondem à vegetação mais vigorosa e densa. No entanto, no que diz respeito às superfícies vegetadas do tipo gramíneas, vegetação esparsa e vegetação de pequeno porte/arbustiva os valores se apresentam positivos mais baixos, aproximadamente entre 0.2 e 0.5, enquanto que os solos possuem valores ainda mais baixos entre 0.1 e 0.2, podendo alcançar valores negativos dependendo do tipo de solo. Em caso de corpos d'água os valores do NDVI tendem a ser negativos (SILVA; GALVÍNCIO, 2012).

O NDBI é um índice radiométrico desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, tendo como base a resposta espectral das áreas construídas nas bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (FRANÇA et al., 2012). Para o cálculo foi utilizada a metodologia proposta por ZHA et al. (2003) expressa pela equação 2

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR) \tag{2}$$

Sendo assim, o NDBI é o resultado da diferença entre as bandas do infravermelho médio (1,57 – 1,65 µm) e infravermelho próximo (0,85 – 0,88 µm), cujos resultados obtidos estarão contidos em um intervalo que varia de -1 a +1, em que os valores positivos correspondem às áreas edificadas.

A carta de temperatura de superfície de Penápolis foi gerada no software Idrisi Selva versão 17.0, utilizando-se imagens do canal infravermelho termal do satélite Landsat 8, com resolução espectral de 10,6 – 11,19 µm. Utilizaram-se as constantes de calibração do sensor do satélite, obtidas também no site do USGS, para a conversão dos números digitais (ND) em energia radiante, representados em tons de cinza. Em seguida, a partir da energia radiante obteve-se a temperatura Kelvin dos alvos, posteriormente convertida para graus Celsius.

Depois da importação da imagem da banda termal para o Idrisi, foi realizada a conversão dos números digitais para informações de radiância através da aplicação da equação 3, cujos significados e valores de seus elementos estão contidos na Tabela 1

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \tag{3}$$

TABELA 1 – ELEMENTOS E VALORES DA FÓRMULA DE CONVERSÃO PARA RADIÂNCIA DOS METADADOS DA IMAGEM DO LANDSAT-8, BANDA 10.

<i>L_λ</i>	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m ² sr µm)
<i>ML</i>	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
<i>AL</i>	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000
<i>Q_{cal}</i>	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

Fonte: USGS, 2013.

Em seguida, para converter os valores de radiância, obtidos através da equação 3, em temperatura em valor de Kelvin, aplicou-se a equação 4, tendo seus significados e valores expostos na Tabela 2

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

TABELA 2 – ELEMENTOS E VALORES DA CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO EXTRAÍDOS DO METADADOS DA IMAGEM LANDSAT-8, BANDA 10

<i>T</i>	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
<i>K2</i>	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
<i>K1</i>	Constante de calibração 1= 774.89 (K)
<i>L_λ</i>	Radiância espectral em Watts/(m ² sr μm)

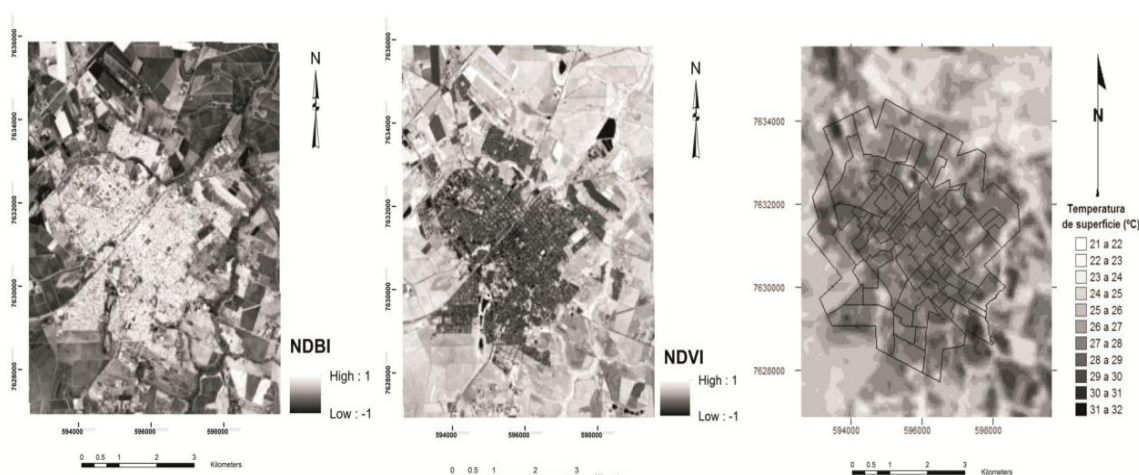
Fonte: USGS, 2013.

Após esse procedimento, foram subtraídos 273,15 dos valores de temperatura em Kelvin, para a obtenção dos valores em graus Celsius (°C). Por fim, para a localização da área que corresponde a cidade na imagem, foi importado o setor censitário georreferenciado, que possibilitou a análise da distribuição da temperatura de superfície em Penápolis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere ao NDVI de Penápolis os valores obtidos apresentaram-se contidos no intervalo de -1 e +1, porém com ausência de valores muito elevados, próximos a +1 (Figura 2), o que corresponde a áreas de mata densa e fechada. Valores próximos a zero e negativos foram mais frequentes em toda a malha urbana, e em alguns pontos da área rural, correspondendo respectivamente às áreas com elevada densidade de edificação e solos expostos

FIGURA 2 - ÍNDICES NDBI, NDVI E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DE PENÁPOLIS-SP.



Fonte: Imagem dos sensores OLI e TIRS do Landsat 8 de 27 de abril de 2014.
Org. Moreira, 2015.

Foram observadas algumas nuances de tons de cinza claro na malha urbana (Figura 2), localizados principalmente nos bairros do setor noroeste, onde há uma considerável quantidade de praças com vegetação arbórea. Já os tons mais escuros, isto é, os valores negativos podem ser encontrados na área central, onde a vegetação é quase inexistente, salvo algumas poucas praças.

Vale ressaltar que, como exposto anteriormente, os corpos d'água também se apresentam na imagem com valores negativos, e por isso aparecem em tons escuros, o que se atribui ao comportamento espectral da água, que possui maior reflectância na região do verde do que na do infravermelho próximo.

Como já era esperado, o cálculo do NDBI de Penápolis apresentou correlação inversa ao cálculo de NDVI, visto que os maiores valores se encontraram nas áreas central e oeste da malha, onde se localizam o centro comercial e o distrito industrial, já os menores valores localizaram-se em áreas com vegetação arbórea, os quais na malha urbana e no entorno rural correspondem aos locais de praças e parques e áreas com plantio, respectivamente.

O mapeamento das áreas construídas faz com que o NDBI represente uma ferramenta muito valiosa aos estudos de uso do solo, porém seu desempenho é afetado pela presença de alguns usos cuja refletância varia sazonalmente, tais como solos destinados à agricultura ou a implantação de novos loteamentos, que quando descobertos apresentam uma resposta espectral semelhante às áreas construídas (ZHA et al., 2003; PINHEIRO; LARANJEIRA, 2013).

Esse fato pode ser observado na área rural do município, sobretudo nas porções noroeste e sudeste da imagem, onde estão presentes solos agrícolas, que no período de coleta da imagem encontravam-se lavrados, ou seja, sem qualquer tipo de cobertura vegetal, fazendo com que essas áreas sejam representadas em tonalidades mais claras e valores positivos, próximos a +1, semelhantes às áreas construídas da malha urbana.

No que diz respeito à imagem termal, observou-se grande correlação com os índices já analisados, em que as temperaturas mais elevadas estão associadas às áreas com solos expostos devido à colheita e/ou a implantação de novos loteamentos e às áreas com alta densidade de edificação, menor quantidade de vegetação e cobertura metálicas, como é o caso da área central e do distrito industrial.

No entanto, alguns bairros residenciais em torno do centro, mesmo possuindo coberturas de telha cerâmica, apresentaram temperatura elevada, isso porque possuem

majoritariamente terrenos menores com alta densidade de edificação, que aliado com a ausência de áreas verdes, gerou o aquecimento superficial.

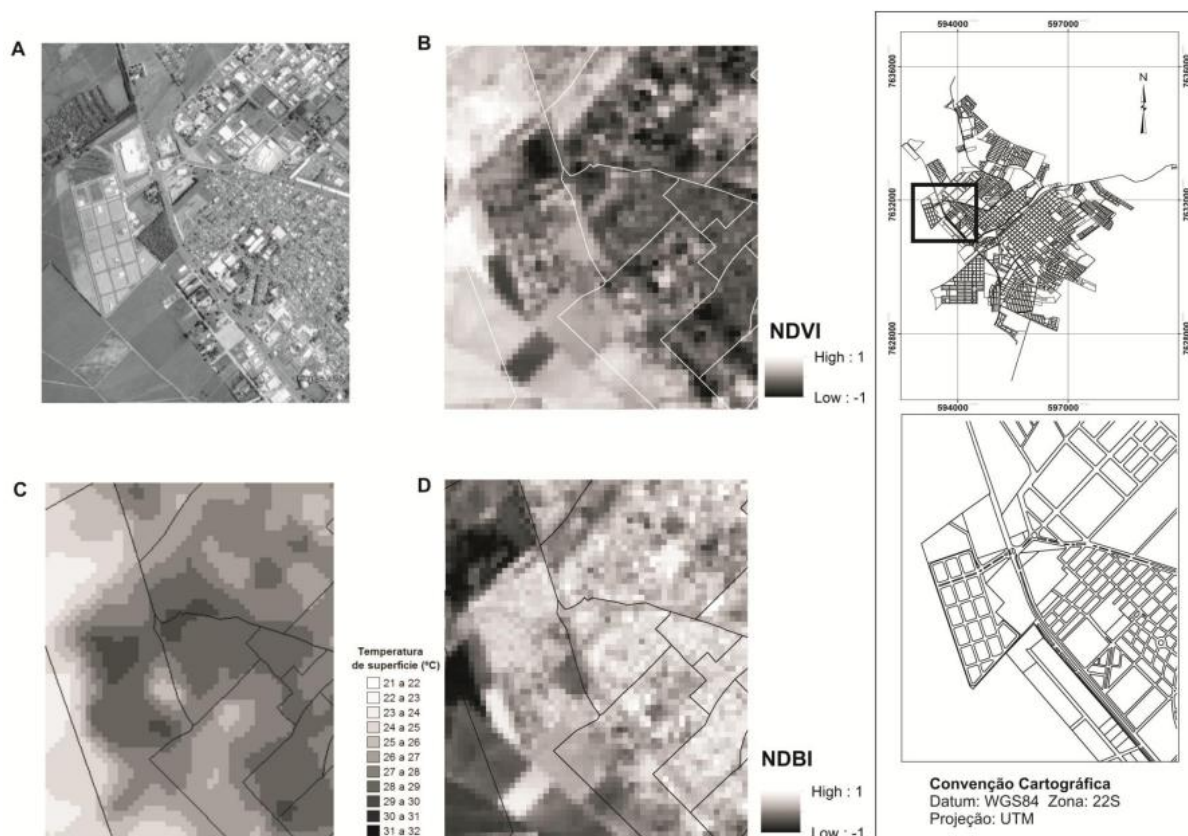
Observou-se ainda que, bairros que possuem maior quantidade vegetação, sobretudo arbórea, apresentaram temperaturas mais baixas se comparadas com outros setores da cidade, fato este que pode ser notado na parte noroeste e sul, onde se localizam bairros que possuem grande quantidade de praças, bosques e canteiros.

Com o intuito de apresentar mais especificamente a correlação entre os índices e a temperatura da superfície, foram escolhidas três áreas de amostragem para análise térmica. A escolha pautou-se nas características do uso e cobertura da terra que interferiram mais diretamente no aumento da temperatura, como, por exemplo, áreas com vegetação ausente e coberturas metálicas. Por sua vez, também se priorizou áreas com vegetação arbórea, como praças e parques, para comprovar a eficiência da vegetação no quesito resfriamento e manutenção de temperaturas mais baixas no ambiente urbano.

A área 1 localiza-se na porção oeste da malha urbana, onde estão situados o parque industrial, loteamentos recentemente abertos e áreas de cultivo agrícola (Figura 3). Esses usos refletem nitidamente na temperatura da superfície, a qual apresentou uma variação térmica crescente no sentido SE-NO, partindo de uma área de temperatura variando entre 23° e 24°C para temperaturas entre 28° e 30°C. Quando se observa a imagem do Google Earth da mesma área nota-se que a porção mais fria representa as áreas de cultivo e que a área mais quente representa os novos loteamentos com solos expostos e as coberturas metálicas das fábricas do parque industrial.

Este fato está em conformidade com as imagens dos índices radiométricos, visto que as maiores e menores temperaturas coincidiram com as áreas com os maiores valores de NDBI e NDVI, respectivamente.

FIGURA 3 - ÁREA 1 LOCALIZADA NA PORÇÃO OESTE DA MALHA URBANA. EM (A) IMAGEM DO GOOGLE EARTH, EM (B) IMAGEM DA CARTA DE NDVI, EM (C) IMAGEM TERMAL E EM (D) IMAGEM DA CARTA DE NDBI.

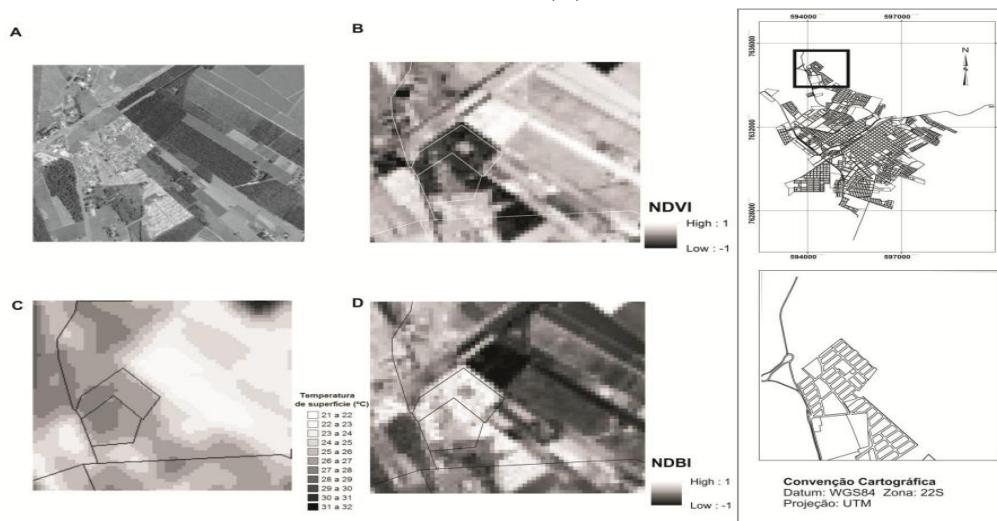


Fonte: Imagem dos sensores OLI e TIRS do Landsat 8 de 27 de abril de 2014.

Org. Moreira, 2015.

A área 2 localiza-se ao norte da malha urbana, próximo a Rodovia Assis Chateaubriand, onde estão localizados os bairros residenciais populares, resquícios de mata nativa e solos agrícolas destinados à pecuária e a plantação de eucalipto (Figura 4). Essa área foi escolhida para demonstrar mais nitidamente a influência da vegetação sobre a temperatura da superfície. A imagem apresenta uma variação térmica de 8°C, partindo de um ponto com temperatura entre 21° e 22°C, representado por área de mata e plantações de eucalipto, até temperaturas em torno de 28° e 29°C, localizadas nos bairros residenciais e em manchas de solo exposto.

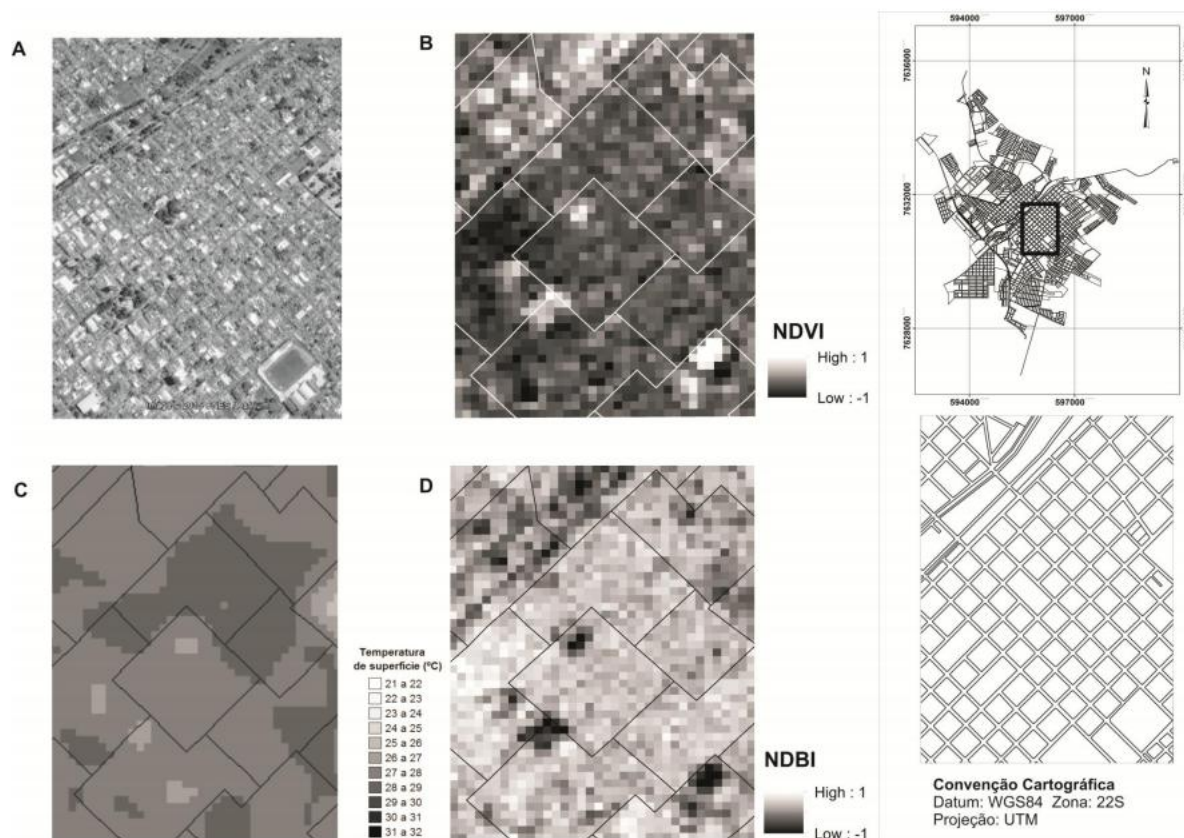
FIGURA 4 - ÁREA 2 LOCALIZADA NA PORÇÃO NORTE DA MALHA URBANA. EM (A) IMAGEM DO GOOGLE EARTH, EM (B) IMAGEM DA CARTA DE NDVI, EM (C) IMAGEM TERMAL E EM (D) IMAGEM DA CARTA DE NDBI.



Fonte: Imagem dos sensores OLI e TIRS do Landsat 8 de 27 de abril de 2014.
Org. Moreira, 2015.

Por último, a área 3 localizada próxima à área central, caracteriza-se pelo uso residencial e pelo elevado grau de edificações (Figura 5). Nesse recorte a variação térmica é menor, em torno de 3°C, as temperaturas mais baixas são pontuais, variando de 24° a 25°C, e as mais elevadas formam uma mancha na parte nordeste da imagem, na qual a temperatura varia entre 28° e 29°C. Observando a imagem do Google Earth é possível notar que esses pontos mais frios correspondem aos locais de praças com vegetação arbórea e a área mais quente se refere à área residencial e parte da área comercial, caracterizadas pelo elevado grau de edificação, pavimentação asfáltica, telhados metálicos e ausência de vegetação.

FIGURA 5 - ÁREA 3 LOCALIZADA PRÓXIMA À ÁREA CENTRAL DA MALHA URBANA. EM (A) IMAGEM DO GOOGLE EARTH, EM (B) IMAGEM DA CARTA DE NDVI, EM (C) IMAGEM TERMAL E EM (D) IMAGEM DA CARTA DE NDBI.



Fonte: Imagem dos sensores OLI e TIRS do Landsat 8 de 27 de abril de 2014.

Org. Moreira, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo demonstrou a importância e as grandes contribuições que o uso de técnicas de sensoriamento fornece aos estudos de clima urbano. Apesar das confusões entre alvos com comportamento espectral semelhante, os índices radiométricos apresentaram grande eficácia no destaque das feições desejadas, sendo possível a identificação e delimitação dos tipos de usos e coberturas da terra.

Os resultados demonstraram significativa correlação entre a temperatura da superfície e os tipos de uso e cobertura da terra. Observou-se que as temperaturas mais elevadas se localizaram onde havia construções com coberturas metálicas, terrenos densamente construídos e solos expostos, que também corresponderam às áreas cujos valores do NDVI foram negativos, próximos a -1, e os valores do NDBI positivos, próximos a +1.

Nesse sentido, com base nas análises entre o uso e cobertura da terra e a temperatura de superfície, se pode inferir que a ilha de calor de superfície em Penápolis segue o padrão encontrado em outras cidades, em que as altas temperaturas estão associadas ao concreto, ao asfalto e às telhas de fibrocimento e metálicas. As menores temperaturas estão relacionadas com a densidade de cobertura vegetal arbórea e com a sazonalidade dos plantios agrícolas.

REFERÊNCIAS

- AMORIM M.C.C.T., DUBREUIL V., QUENOL H., SANT'ANNA J.L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). *Confins* [Online], 7-2009, 16p. Disponível em: <<http://confins.revues.org/index6070.html>>. Acesso em 13 mar. 2015.
- BARBIRATO, G. M. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.
- CONSTANTINO, N. R. T. Rios urbanos no oeste paulista. In: III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo, 2014, Belém. **Anais APPURBANA III Seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo**. Belém: UFPA, 2014, v. 1. p. 1-17. Disponível em: <<http://www.appurbana2014.com/anais/ARQUIVOS/GT5-147-21-20140515175753.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2015.
- FRAGA, N. C.; SILVA, L. F. B.; GALLINARI, T. S.; JAYME, N. S. **De princesinha do noroeste paulista ao mar de cana – uma análise do espaço geográfico de Penápolis, SP**. *Geographia Opportuno Tempore*, Londrina, v. 2, número especial, p. 467-479, jul./dez. 2014.
- FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 - 009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo Demográfico 2010: Sinopse**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=353730&idtema=1&search=sao-paulo|penapolis|censo-demografico-2010:-sinopse->>. Acesso em: 12 mar. 2015.
- IBGE CIDADES. **Penápolis: Histórico do município**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=353730&search=sao-paulo|penapolis|infograficos:-historico>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.
- JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.
- MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de Superfície e Temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). *Revista RA'E GA*, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005.
- PINHEIRO, C.; LARANJEIRA, M. Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, 2013, n.º 4 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 249-272.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade**: História. Disponível em: <<http://www.penapolis.sp.gov.br/cidade.php?codigo=1>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade**: Localização. Disponível em: <<http://www.penapolis.sp.gov.br/cidade.php?codigo=2>>. Acesso em: 12 de mar. 2015.
- SARTORI, A. A. C.; PIANUCCI, M. N.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no município de Botucatu-SP. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal-RN. SBSR -XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. v. 14. p. 4363-4369. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.11.17.31/doc/4363-4369.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.
- SILVA, L. G. da; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 5, n. 6, p. 1446–1456, dez. 2012.

SILVA, L.T. ; TOMMASELLI, J.T.G. ; AMORIM, M. C. C. T. . O clima urbano de Penápolis-SP: um episódio de inverno. In: João Lima Sant'Anna Neto. (Org.). **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente: UNESP/FCT/Programa de Pós-graduação em Geografia, 2002, v. 1, p. 197-227.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). **Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 EUA**. Disponível em: << <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 de jan. 2015.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). **Landsat-8: Instruments**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 10 de mar. 2015.

Zha, Y. ; Gao, J.; Ni, S. (2003). “Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”. **International Journal of Remote Sensing** 24(3):583-594.