

Análise da influência do uso do solo nas variações de temperatura utilizando imagens MODIS e LANDSAT 8

Vandoir Bourscheidt¹

¹ Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Rod. Washington Luís, km 235 - SP-310 São Carlos, SP – Brasil
vandoir@ufscar.br

Abstract. Many efforts have been made in recent years to better understand the elements driving climate changes. Along with greenhouse gases, some recent studies have analyzed the impacts of land use change on the temperature at local, regional and even global scale. Most of these studies focused on the impact of changing vegetation cover by cropland and other vegetated surfaces. This paper aims to complement the analysis of land use impacts by assessing the effects of bare soil on the surface and air temperature. LANDSAT 8 and MODIS imagery were used to access the surface temperature through different approaches, which were validated with near surface air temperature from ground stations. Vegetation index was also produced from LANDSAT 4-5 bands to indicate land use changes. Regarding the approaches to obtain surface temperature, the NDVI-based surface temperature seem so produce reasonable values. The method based on the land cover classification is strongly dependent on the classification quality and on the emissivity values. On the temperature and land use perspective, the results show a significant dependence of air temperature on the land use, with a negative correlation between NVDI and air temperature. Finally, the energy balance based on the temperature (Ts and LST) indicate warming conditions for regions with seasonal changes in land use.

Palavras-chave: Surface Temperature, vegetation indexes, image processing, temperatura de superfície, processamento de imagens, índices de vegetação.

1. Introdução

São notórios os esforços, nos últimos anos, na busca de explicações para as mudanças climáticas, cujos modelos tem apontado para o grande impacto antropogênico neste cenário, principalmente através das frentes biogeofísicas - que envolvem o uso do solo, albedo, evapotranspiração, etc. - e biogeoquímicas - relacionadas principalmente com os gases do efeito estufa (Hempel, 1993; Findell et al., 2007; He et al., 2014). Dentre as características biogeofísicas, diversos trabalhos têm buscado aprofundar o entendimento no que se refere aos impactos das mudanças no uso do solo. He et. al. (2014) mostraram através de modelos uma contribuição significativa das mudanças do uso do solo, que são comparáveis, em momentos distintos, às mudanças associadas com as emissões de gases do efeito estufa.

Outros estudos ainda buscam entender o impacto do tipo de cobertura e uso do solo através do balanço energético local/regional, i.e., como as diferentes superfícies vegetais (áreas agrícolas, florestas, campo) interagem com a radiação de ondas curtas (albedo) e longas (através da Land Surface Temperature, LST), bem como os efeitos das variações de umidade neste contexto (Zhao e Jackson, 2014).

Com relação a temperatura de superfície, o seu uso tem se expandido, sendo muito utilizada atualmente nos mais diversos estudos. Estudos acerca da formação (expansão) e do impacto das ilhas de calor urbano, por exemplo, podem ser mencionados. Estes trabalhos buscam desde a identificação de variações espaciais da temperatura (gradiente) até a possível relação desta superfície alterada com o aumento da temperatura a nível global (Hu e Jia, 2010).

No entanto, nenhum detalhe sobre o impacto das ocorrências sazonais de solo exposto é encontrado na literatura. Fall et al. (2010) mencionam a importância deste elemento sobre as variações de temperatura em escala local e regional, sem, no entanto, aprofundar na análise deste aspecto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar as variações de uso do solo, principalmente no que se refere às mudanças sazonais associadas com os processos agrícolas como a exposição do solo, comparando as mesmas com os campos de temperatura de superfície obtidos através de imagens MODIS e LANDSAT 8, buscando identificar possíveis impactos das variações do uso do solo sobre a temperatura média do ar.

2. Materiais e Métodos

A Figura 1 mostra a região abordada neste trabalho, destacando a área de cobertura da imagem e a disposição das estações meteorológicas. Foram utilizadas imagens LANDSAT 8 para 5 dias ao longo de 2013 e 2014, buscando obter diferentes condições do uso do solo para a área de abrangência das imagens. As imagens nas bandas 2-7 foram corrigidas para efeitos atmosféricos utilizando apenas o método simples de subtração de pixel escuro (DOS) (Chavez, 1996). A banda 10 (termal) não passou pelo processo de correção atmosférica. Correções atmosféricas para as imagens no termal podem ser feitas quando mais de uma banda nesta região do espectro estão disponíveis, através de técnicas como a chamada Split-Window (Wan e Dozier, 1996). Porém, esta técnica não está sendo aconselhada para as imagens LANDSAT 8 no momento devido à incerteza de calibração para uma das bandas do termal (banda 11) (USGS, 2014).

Para obter a temperatura de superfície para as imagens LANDSAT, três técnicas foram testadas: (1) a conversão da banda termal de ND (número digital) para radiância seguida da conversão para TB (temperatura de brilho ou temperatura “*at-satellite*”) através da inversão da Lei de Planck; (2) o ajuste da TB resultante através da classificação da imagem (obtida com as bandas 2-7); e o ajuste da TB resultante através do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Os dois últimos métodos resultam na usualmente chamada LST (Land Surface Temperature ou temperatura de superfície). A conversão para temperatura de brilho, na qual são transformados apenas os valores de radiância para temperatura de brilho, assume como referência a emissividade (constante) de um corpo negro (Weng et al., 2004). Este método é o mais simples e pode ser encontrado em diferentes trabalhos (Pereira et al., 2012; Coelho e Correa, 2013).

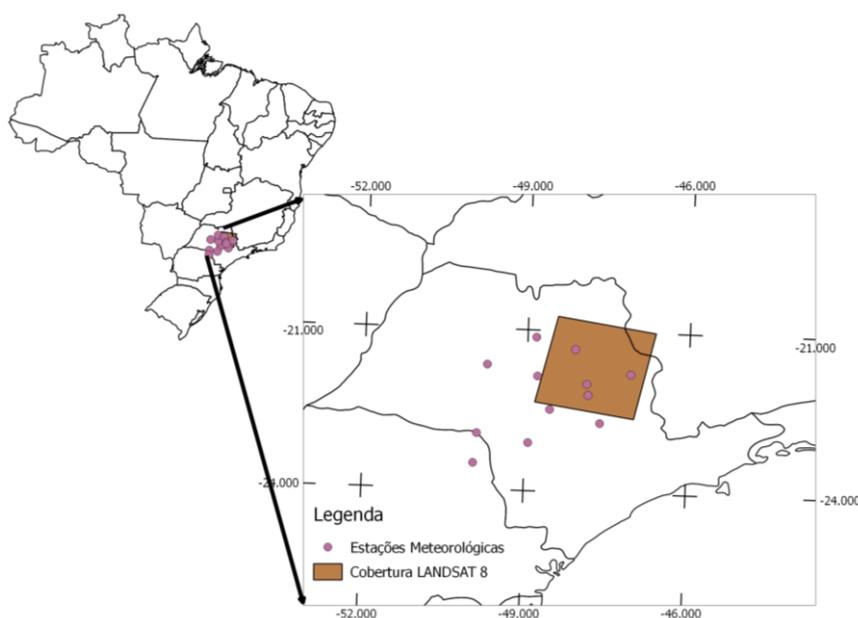


Figura 1 – Região de estudo, mostrando em destaque a área de cobertura das imagens LANDSAT 8, além da disposição das estações e Superfície utilizadas no trabalho.

Como a superfície, no entanto, é composta por alvos variados, a maneira mais apropriada de considerar a temperatura da superfície seria através de valores variáveis emissividade, conforme a Equação 1 (Weng et al., 2004):

$$S_t = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \rho) \ln \varepsilon} \quad (1)$$

onde T_B é a temperatura de brilho obtida pelas equações já comuns aos trabalhos mencionados; S_t é a temperatura de superfície; λ é o comprimento de onda da banda TIR em análise (10.8); e ε é a emissividade de cada alvo. A emissividade é de grande importância para o cálculo da LST, tendo em vista que, com base na Equação 1, alterações de 6 décimos (0.98 para 0.92, por exemplo) implicam em alterações de 4.4°C na temperatura calculada.

Diferentes formas de se obter a emissividade podem ser encontradas, com destaque para a classificação (e posterior associação de valores discretos de emissividade) e para o uso do NDVI (EVI). A conversão para LST para o primeiro caso foi obtida através da classificação prévia e, a partir das classes, foi feita a associação dos valores de emissividade de acordo com as medidas obtidas por Mallick et al. (2012). Já para o segundo caso, a associação de valores de NDVI com a respectiva emissividade foi realizada conforme proposto por Sobrino et al. (2004), onde valores de NDVI < 0.2 são associados com a emissividade de 0.97, NDVI > 0.5 é associado a emissividade de 0.99 e os valores no intervalo seguem uma função que leva em conta ainda a normalização entre os valores máximos e mínimos de NDVI (P_v):

$$\varepsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (2)$$

No que se refere ainda ao NDVI, esta mesma informação foi obtida de modo a auxiliar na compreensão do impacto do uso do solo sobre as variações de temperatura e, possivelmente, no balanço energético local/regional. Além das imagens LANDSAT 8, foram obtidas ainda imagens MODIS, através do produto LST (Land Surface Temperature) MOD11A1 e MYD11A1, na tentativa de identificar alterações na relação com a temperatura do ar, buscando analisar possíveis variações temporais associadas à ocorrência de solo exposto.

Também foram utilizados dados de estações automáticas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para confirmar os valores de temperatura obtidos através das imagens. Dados de 4 estações foram utilizados para a análise envolvendo imagens LANDSAT. Para o caso das imagens LST MODIS, foram analisadas duas estações meteorológicas (São Carlos e Pradópolis), que foram escolhidas devido ao caráter constante do uso do solo para a primeira e variável para a segunda (área agrícola).

3. Resultados e discussão

A Figura 1 mostra os valores de temperatura obtidos através das 3 técnicas mencionadas anteriormente: a conversão simples de ND para a temperatura de brilho (TB) pela inversão da Lei de Planck, também chamada de temperatura “*at-satellite*”, que considera a emissividade como sendo constante e igual a 1 (corpo negro); a conversão de TB ajustando os valores de emissividade com base na classificação tipológica da superfície (juntamente com a conversão adicional que leva em conta a emissividade de cada tipo de alvo); e a conversão utilizando o NDVI como fonte para os valores de emissividade, conforme descrito em Sobrino et al. (2004) e mencionado anteriormente.

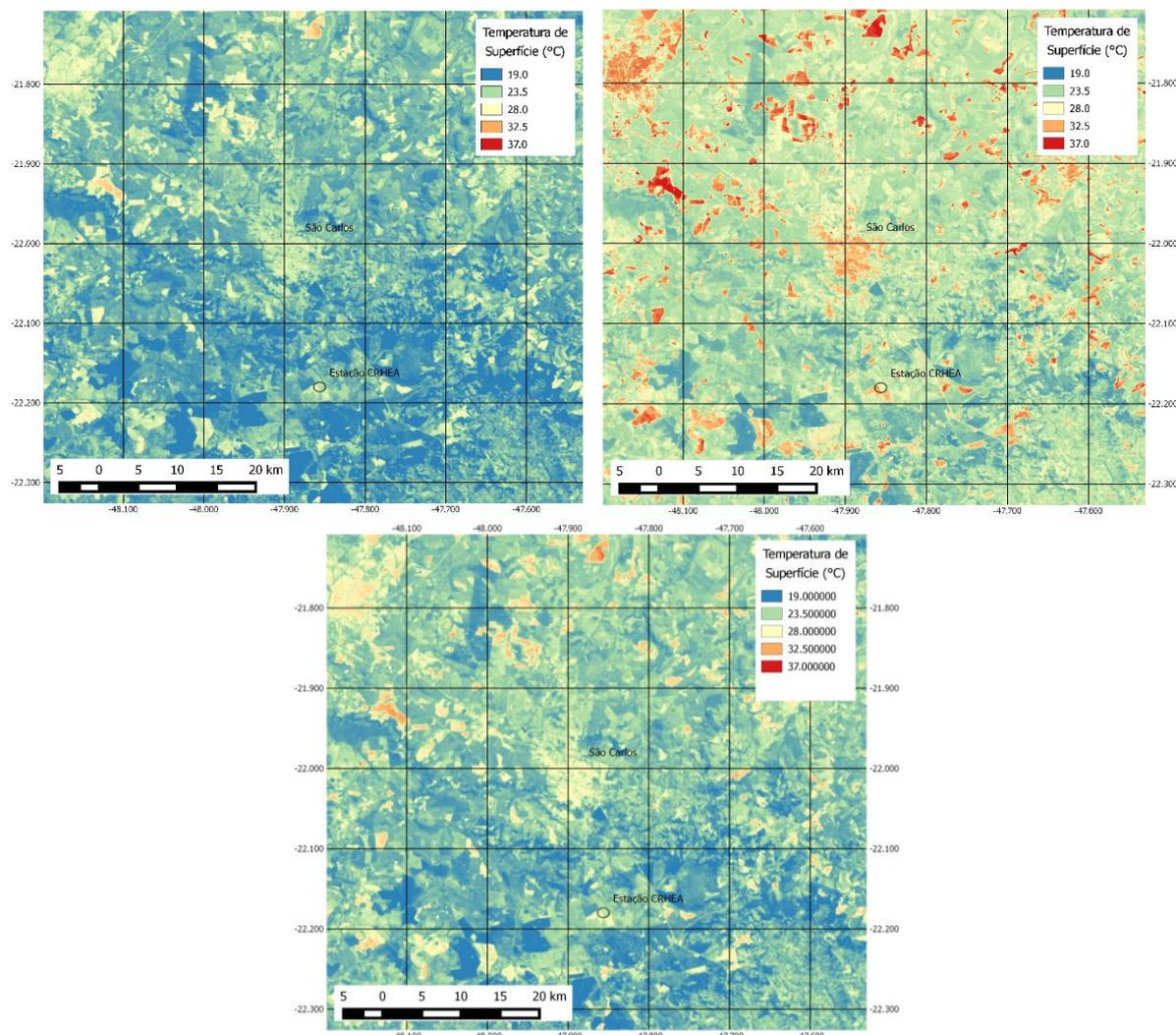


Figura 2 – Conversão da banda 10 (TIRS/LANDSAT 8) em temperatura de superfície usando três técnicas: (a) conversão simples, através da inversão da Lei de Planck; (b) conversão utilizando classes de uso com diferentes emissividades; (c) conversão utilizando o NDVI como fonte para os valores de emissividade, conforme descrito em Sobrino et al. (2004).

Observa-se de um modo geral um aumento da temperatura estimada para os casos B e C, visto que os valores de emissividade inferiores aumentam a temperatura. Par ao caso da estimativa através da classificação, os valores relativamente altos apontam para problemas com a baixa emissividade associada com algumas classes, que podem não ser realistas para este caso, visto que são baseadas em medidas para outras regiões. Além disso, o uso de modelos para diferentes tipos de solo, bem como ajustes para as variações de umidade – que podem variar significativamente e afetar a emissividade e a temperatura resultante – poderiam melhorar a estimativa da temperatura.

A temperatura estimada através do modelo baseado no NDVI foi utilizada para avaliar o uso das imagens MODIS, conforme destacado na Figura 3, que mostra duas análises distintas. A primeira, feita com o intuito de avaliar os possíveis impactos da baixa resolução do MODIS na comparação com os dados de superfície, mostra a correlação entre a temperatura do ar (T_s) e a temperatura de superfície (LST) estimada com imagens LANDSAT em função da distância. Esta análise indica que as diferenças entre os dados da estação para os valores da temperatura de brilho bem como para a temperatura de superfície tendem a diminuir com a distância. A correlação, de forma similar, aumenta, o que pode ser esperado em função do maior número de dados produzindo a média final. Este resultado indica que o uso das imagens

MODIS não deve ser afetado devido à distância do pixel até a estação em questão. Já a segunda análise mostra a comparação da temperatura de superfície – obtida pelo método simples e pelo método considerando o NDVI – com a temperatura do ar. Observa-se uma boa correlação entre as medidas, com destaque para a estimativa baseada no NDVI, que apresenta maior diferença (valores elevados) em relação aos dados de superfície, o que é esperado. O gráfico indica ainda melhores resultados para o ano de 2014, o que pode estar atrelado a possíveis problemas de calibração do sensor em 2013.

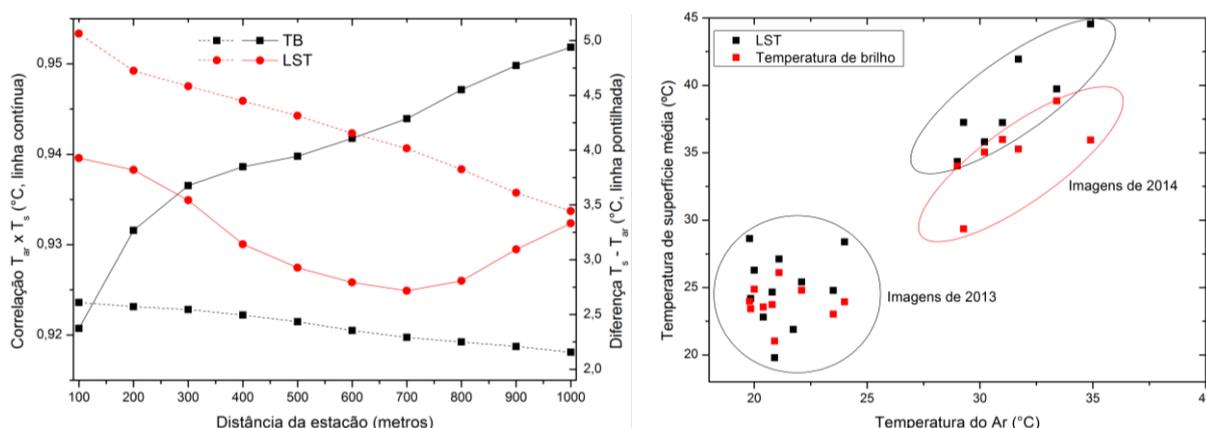


Figura 3 – (a) Correlação e diferença entre a temperatura de superfície e do ar em função da distância; (b) Correlação entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, com destaque para as variações observadas para os anos de 2013 e 2014.

Posteriormente a análise da temperatura estimada através dos diferentes métodos, buscou-se avaliar efetivamente o impacto do uso do solo sobre as variações locais de temperatura. Esta avaliação foi feita através da geração do NDVI para as imagens LANDSAT disponíveis. Os resultados comparando os valores de NDVI e a temperatura de superfície são apresentados na Figura 4.

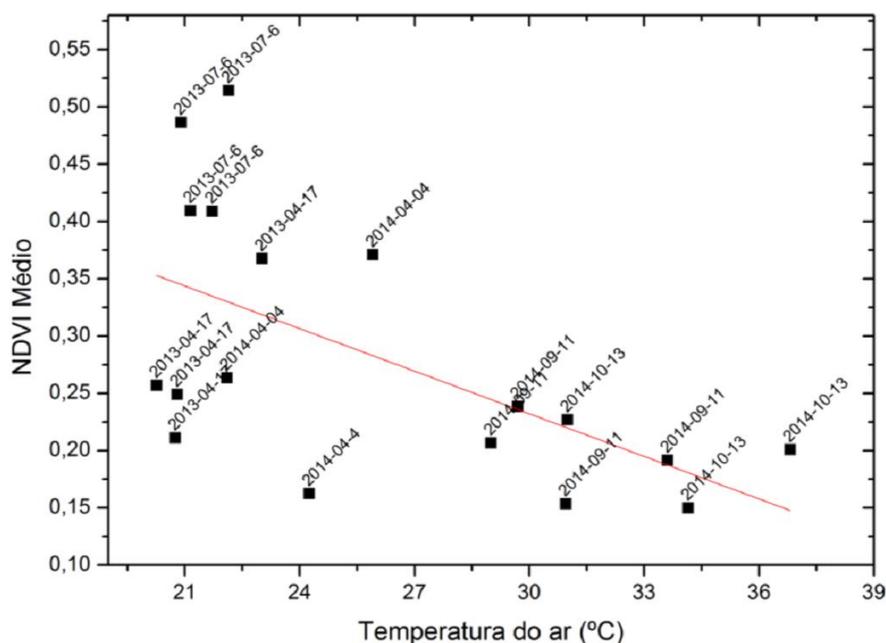


Figura 4 – Comparação entre NDVI obtido através das imagens LANDSAT 8 e a temperatura do ar. Em destaque estão as datas das imagens. Os valores de temperatura foram corrigidos para as variações de altitude das estações.

Observa-se uma correlação negativa, com uma clara tendência de aumento da temperatura para a diminuição nos valores de NDVI, que estão associados com uma menor quantidade de vegetação sobre a superfície. Portanto, acredita-se que a menor ocorrência de vegetação e maior ocorrência de solo exposto, está diretamente relacionada com o aumento da temperatura do ar.

A partir deste comportamento, buscou-se estender a análise para outras áreas, onde foram comparados os valores de temperatura do ar com a temperatura de superfície (LST MODIS). Para tal, foram selecionadas duas estações com características de uso distintas, conforme mencionado na seção anterior. Os resultados para esta análise são mostrados na Figura 5, onde na direita são mostrados os resultados para a estação de Pradópolis, que uma região basicamente agrícola, e para a estação de São Carlos, que não apresenta variações do uso para o entorno.

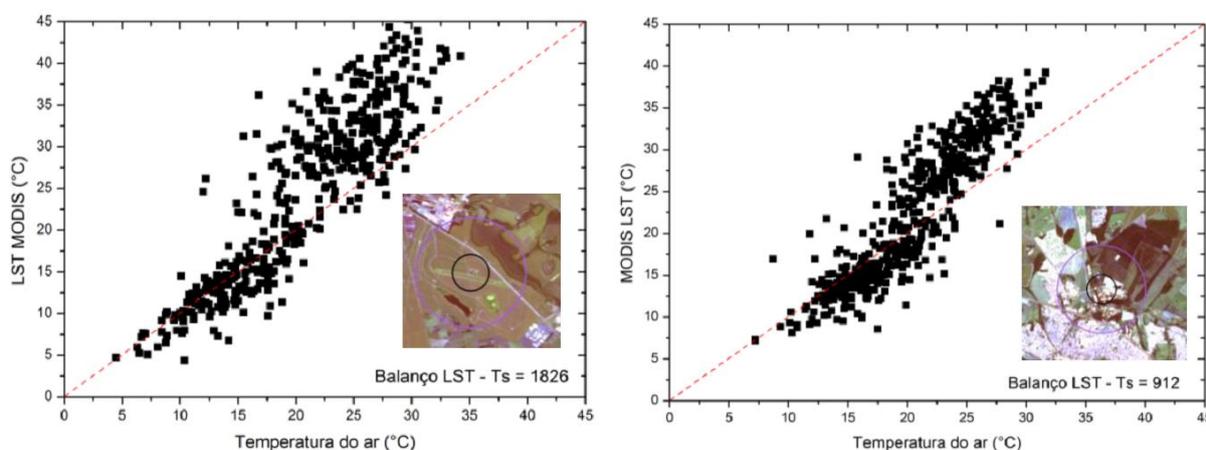


Figura 5 – Gráfico de espalhamento correlacionando a temperatura de superfície (LST MODIS) com a temperatura do ar (T_s), para duas localidades: (a) Pradópolis e (b) São Carlos. O detalhe mostra as características de uso do solo para as duas regiões. O balanço refere-se ao total obtido a partir da diferença entre LST e T_s . Os dados foram corrigidos para as variações de altitude entre as duas estações.

Observa-se que amplitude nos valores para Pradópolis é maior do que para São Carlos. Apesar disso, o balanço observado para esta região é duas vezes maior do que o obtido para São Carlos, sugerindo um balanço positivo de energia. Com base nisso, o que pode ser interpretado pela Figura 5 é que áreas com variações sazonais no uso do solo e/ou com menor cobertura vegetal normalmente resultarão em um maior aquecimento, o que concorda com a observação de Fall et al. (2010).

4. Considerações Finais

O trabalho buscou analisar diferentes aspectos relacionados à temperatura do ar e de superfície. Esta última foi estimada através de diferentes métodos propostos na literatura, que se mostraram satisfatórios, com destaque para a conversão da temperatura de brilho para temperatura de superfície ao assumir valores de emissividade inferiores a 1. O uso do NDVI apresentou resultados mais realistas e, devido a isso, foi utilizado nas demais análises.

Partindo desta análise, buscou-se avaliar o impacto do uso do solo, visando as áreas agrícolas com variações sazonais do mesmo. Os resultados comparando o NDVI e a temperatura de superfície indicam uma relação inversa entre o NDVI e a temperatura do ar, o que pode ser esperado devido à diminuição do albedo e maior irradiação do solo, contribuindo para o aumento da temperatura.

Complementando esta análise, a comparação entre os dados LST MODIS e a temperatura do ar também indicam que estações inseridas em regiões agrícolas com variação sazonal do uso possuem um balanço térmico positivo superior a regiões de ocupação constante e sem períodos de significativa alteração da cobertura.

Finalmente, esta análise ainda pode ser considerada preliminar, tendo em vista que dados de outras estações/regiões, com natureza mais diversificada, podem ser confrontados para enriquecer o diagnóstico.

Referências

Chavez, P. S. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025-1035, 1996. ISSN 0099-1112.

Coelho, A. L. N.; Correa, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/LANDSAT-8: Metodologia e Aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31 -45, 2013.

Fall, S. et al. Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: assessment using the North American Regional Reanalysis. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 1980-1993, Nov 2010. ISSN 0899-8418.

Findell, K. L. et al. Modeled impact of anthropogenic land cover change on climate. **Journal of Climate**, v. 20, n. 14, p. 3621 -3634, Jul 2007. ISSN 0894-8755.

He, F. et al. Simulating global and local surface temperature changes due to Holocene anthropogenic land cover change. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 2, p. 623-631, Jan 2014. ISSN 0094-8276.

Hempel, L. C. Climate change - the IPCC impacts assessment - Intergovt-panel-climate-change. **Political Research Quarterly**, v. 46, n. 1, p. 213-239, Mar 1993. ISSN 1065-9129.

Hu, Y. S.; Jia, G. S. Influence of land use change on urban heat island derived from multi-sensor data. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 9, p. 1382-1395, Jul 2010. ISSN 0899-8418.

Mallick, J. et al. Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 19, p. 348-358, 2012. ISSN 0303-2434.

Pereira, G. et al. Determinação e modelagem da taxa de consumo de biomassa queimada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 13-22, 2012.

Sobrinho, J. A.; Jiménez-muñoz, J. C.; Paolini, I. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of environment**, v. 90, n. 4, p. 434-440, 2004. ISSN 0034-4257.

U.S. Geological Survey (USGS). Landsat 8 (L8) Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS): calibration notices. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php>, acesso em 07/11/2014.

Wan, Z. M.; Dozier, J. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 34, n. 4, p. 892-905, Jul 1996. ISSN 0196-2892.

Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

Zhao, K. G.; Jackson, R. B. Biophysical forcings of land-use changes from potential forestry activities in North America. **Ecological Monographs**, v. 84, n. 2, p. 329-353, May 2014. ISSN 0012-9615.