

## Análise de tendência da temperatura de superfície a partir de imagens Landsat 5: contribuições da plataforma Google Earth Engine

Vandoir Bourscheidt

Departamento de Ciências Ambientais - Universidade Federal de São Carlos -  
DCAm/UFSCar  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil  
vandoir@ufscar.br

**Abstract.** Different studies have analyzed the impacts of land use change on the temperature and how it may important on the modeled climate change scenarios. This paper presents a specific analysis of the surface temperature, verifying how it has changed in a wide spatial scale and over more than two decades. To do this, we have used the computational power of Google Earth Engine to create a linear regression model over the entire Landsat 5 collection, resulting in specific images with constant, slope and residuals values for every pixel. Data was filtered for different environmental conditions (cloud, shadow and other artifacts on images) and for temporal effects as well, removing seasonal variations. Thermal band was processed to land surface temperature applying specific and well known procedures, including atmospheric correction based on Landsat SR (Surface Reflectance) product. On the surface temperature and land use perspective, the results show a significant dependence of surface temperature on the land use, as expected. The angular coefficient (slope) obtained from linear regression indicate that positive trends are predominant (more than 60%) over of the studied area. For the more significant cases (pixels), positive trends over the 28 years indicate an increment in the surface temperature of more than 2,8°C. These findings may be an instrument to base more studies on land use and surface temperature influences on the radiation/energy balance.

**Palavras-chave:** land surface temperature, Landsat 5, Google Earth Engine, temperatura de superfície.

### 1. Introdução

Entende-se de forma ampla que as atividades antrópicas têm papel preponderante sobre as mudanças climáticas sendo observadas e estes impactos precisam ser modelados para poder estabelecer cenários futuros. E esta modelagem se utilizada normalmente de duas frentes distintas: a frente biogeofísica - envolvendo o uso do solo, albedo, evapotranspiração, etc. – e a frente biogeoquímicas – relacionada principalmente com os gases do efeito estufa (Hempel, 1993; Findell et al., 2007; He et al., 2014). Com relação as características biogeofísicas, diferentes trabalhos têm buscado aprofundar o entendimento no que se refere aos impactos das mudanças no uso do solo.

Trabalhos relacionando a evolução da temperatura com o uso do solo tem demonstrado que esta, embora não muito presente nas discussões acerca das mudanças climáticas, tem um papel importante em modelos climáticos. He et. al. (2014), assim como Singh e Shi (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. Observação semelhante é feita por De Laat e Maurellis (2006), indicando uma importância considerável desta variável no contexto das mudanças climáticas.

Nesta direção, diversos estudos vêm buscando entender o impacto do tipo de cobertura e uso do solo (assim como a umidade) sobre o balanço energético local/regional (Zhao e Jackson, 2014; Fausto et al, 2016). O balanço de radiação é controlado por diferentes elementos, entre os quais tem destaque o tipo de cobertura e a existência de água, que afetaram os fluxos de calor sensível e latente. Uma área de vegetação densa, por exemplo, resfria a temperatura no seu entorno com a evapotranspiração e pela formação de sombra (Weng et al, 2014).

Uma das principais dificuldades encontradas nos estudos sobre o balanço energético refere-se à limitação em analisar medidas da temperatura aparente da superfície (emitida), que

está diretamente relacionada com os impactos do uso do solo, para longos períodos. Este tipo de análise tem se tornado possível em períodos recentes principalmente pelo avanço de sensores termais como o MODIS, mas que, no entanto, apresenta limitada resolução espacial. Os satélites LANDSAT, por outro lado, apresentam resolução espacial razoável, mas são difíceis de analisar em função da demanda computacional necessária para realizar operações sobre uma série temporal de dados, por exemplo.

Com o estabelecimento da plataforma Google Earth Engine (GEE), estas limitações podem ser transpostas. Esta plataforma é considerada como a mais avançada para o processamento de informações geoespaciais na nuvem atualmente (Google inc., 2016). Assim, com a utilização dessa ferramenta, é possível analisar longas séries temporais em pouco tempo, colaborando para o processamento de Gigabites de informação em tempo quase real, disponibilizando aos usuários a estrutura de processamento dos seus servidores.

Desta forma, pretende-se nesse trabalho utilizar esta infraestrutura computacional para realizar uma análise ampla das variações de temperatura de superfície com base em imagens Landsat 5 ao longo de 28 anos, buscando identificar as variações de temperatura em um amplo contexto e como estas se relacionam com as alterações do tipo de cobertura, visando contribuir principalmente para o avanço nos estudos das relações entre o uso do solo e eventualmente sobre o balanço radiativo.

## 2. Metodologia

A análise foi realizada para uma única órbita ponto do Landsat 5 (220/75), englobando a área central do estado de São Paulo, conforme destacado na Figura 1. Os procedimentos para a geração dos resultados foram desenvolvidos essencialmente através da plataforma Google Earth Engine. Esta plataforma, acessada através de uma API para codificação Javascript, permite o desenvolvimento de algoritmos e processamento online, com a realização de operações pixel-a-pixel para um conjunto enorme de informações utilizando os servidores da Google para o processamento dos dados, que posteriormente foram exportados e ajustados no software ArcGIS.

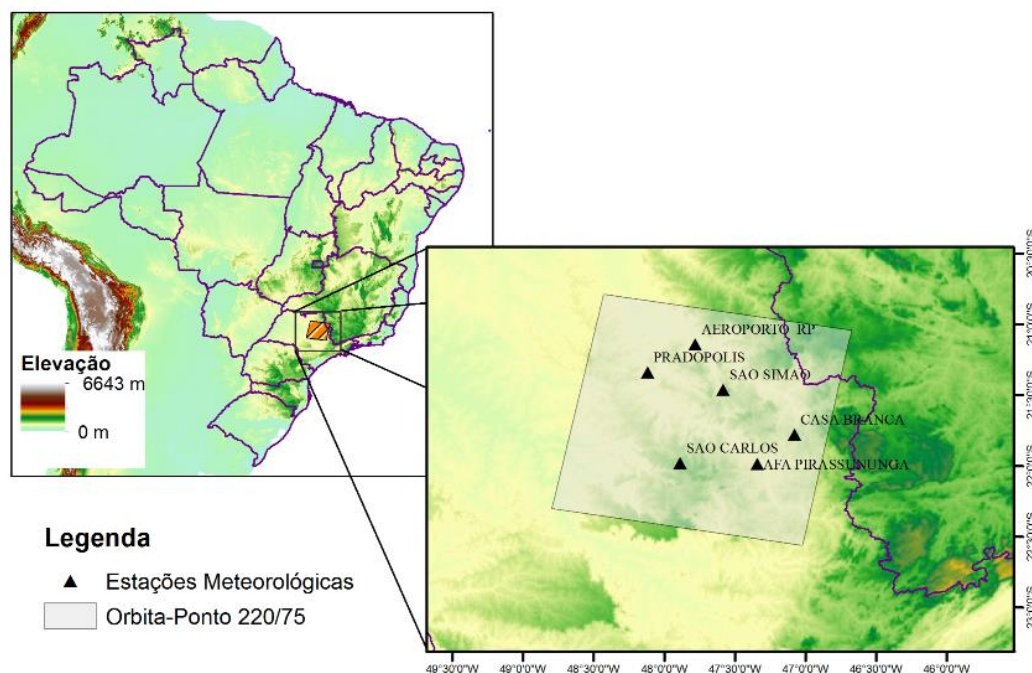


Figura 1 – Região de estudo, mostrando em destaque a órbita ponto WRS2/Landsat 5, além da disposição das estações meteorológicas utilizadas no trabalho.

Utilizando a série completa de imagens Landsat 5, foi aplicado o filtro FMask, que é executado durante o processamento das imagens (pixel-a-pixel). Utilizou-se o critério para manter apenas pixels considerados claros (Land Pixel, 0). Estes filtros já estão implementados no GEE. Uma melhor descrição do filtro FMask pode ser encontrada no trabalho de Zhu et al (2014). Além desse filtro, foi estabelecida outra filtragem selecionando, neste caso, apenas imagens com cobertura de nuvem inferior a 50%, limitando a ocorrência de dados espúrios. Finalmente, foi realizada mais uma operação de filtragem para adquirir apenas imagens do período de inverno, no intuito de evitar a influência da sazonalidade sobre os valores de temperatura obtidos. Para tal, utilizou-se como critério a elevação solar, sendo utilizadas apenas imagens com elevação solar inferior a 50°.

Para extrair valores de temperatura com menor influência da atmosfera e também para associar de forma mais adequada as variações de emissividade da superfície, foi utilizado o algoritmo proposto por Jimenez-Munoz et al (2009), através de adaptações ao código implementado por George Azzari na API Javascript do Google Earth Engine. Nesta implementação, são utilizados diferentes produtos da série Landsat, inclusive os produtos SR processados pelo Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS/NASA), que possuem informações relativas à atmosfera e permitem realizar as correções adequadas para obter os valores de temperatura de superfície (LST).

Após a obtenção da temperatura de superfície (LST) corrigida para os efeitos de emissividade e efeitos atmosféricos, foi então aplicada uma função de regressão linear sobre todas as imagens da série Landsat 5 disponíveis após a filtragem dos dados, em uma operação pixel-a-pixel. Esta operação através do GEE retorna os parâmetros  $\beta$  da equação de regressão linear para cada pixel da imagem como uma função do tempo:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \quad (1)$$

onde  $Y_t$  é o valor esperado para a LST;  $t$  é o tempo, considerado como fração de ano neste caso, e  $\varepsilon$  é o erro aleatório. Este erro está relacionado aos resíduos, que também foram avaliados para cada pixel.

### 3. Resultados

Pela aplicação da função regressão, três imagens foram geradas referentes ao coeficiente angular (declive) da regressão, constante (intersecção da reta) e os resíduos, usados neste caso como uma referência aos erros das estimativas para cada pixel. Estas imagens estão agrupadas na Figura 2. A intersecção (constante, à esquerda) indica áreas que apresentavam uma maior ou menor temperatura no início do levantamento e provavelmente tem relação com áreas com ou sem cobertura vegetal. Já a imagem da direita (2c) indica o resíduo para o ajuste calculado. Este erro também é um indicador da variabilidade existente ao longo dos anos, especialmente pela alternância entre solo exposto e cobertura vegetal. As áreas com menor erro apresentaram resultados mais contínuos ao longo do tempo, o que pode ser evidenciado pela área de APP destacada através do círculo na Figura 2c.

Buscando avaliar de forma mais detalhada as tendências, observadas através do coeficiente angular na Figura 2b, esta mesma figura foi ampliada com destaques na Figura 3. Estes destaques visam mostrar algumas das principais feições observadas com a regressão. O destaque sobre a parte em vermelho, que indica tendência mais positiva, está associado com uma área que teve uma significativa alteração do uso do solo, passando de uma área com cobertura vegetal significativa para uma área agrícola, o que impactou na tendência. O inverso ocorre no segundo destaque, com a transformação de área agrícola em área de silvicultura. Já o terceiro destaque foi usado para ressaltar as alterações resultantes pela extração vegetal em lotes específicos.



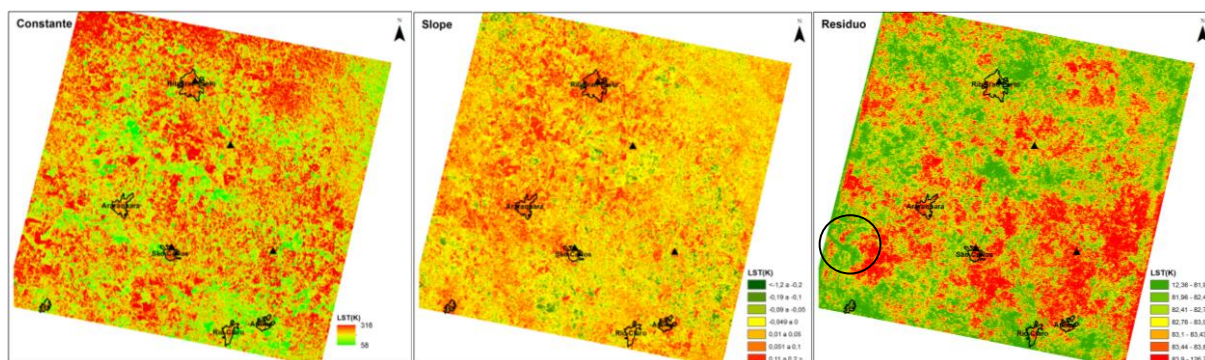


Figura 2 – Imagens dos resultados da operação de regressão, mostrando, da esquerda para a direita, o coeficiente constante (a), o coeficiente angular (b) e o resíduo (c) para as operações pixel-a-pixel. Áreas em vermelho indicam valores maiores (para cada variável). Destaque para a área de APP com menor resíduo em função da baixa alteração ao longo do tempo, conforme ressaltado pelo círculo.

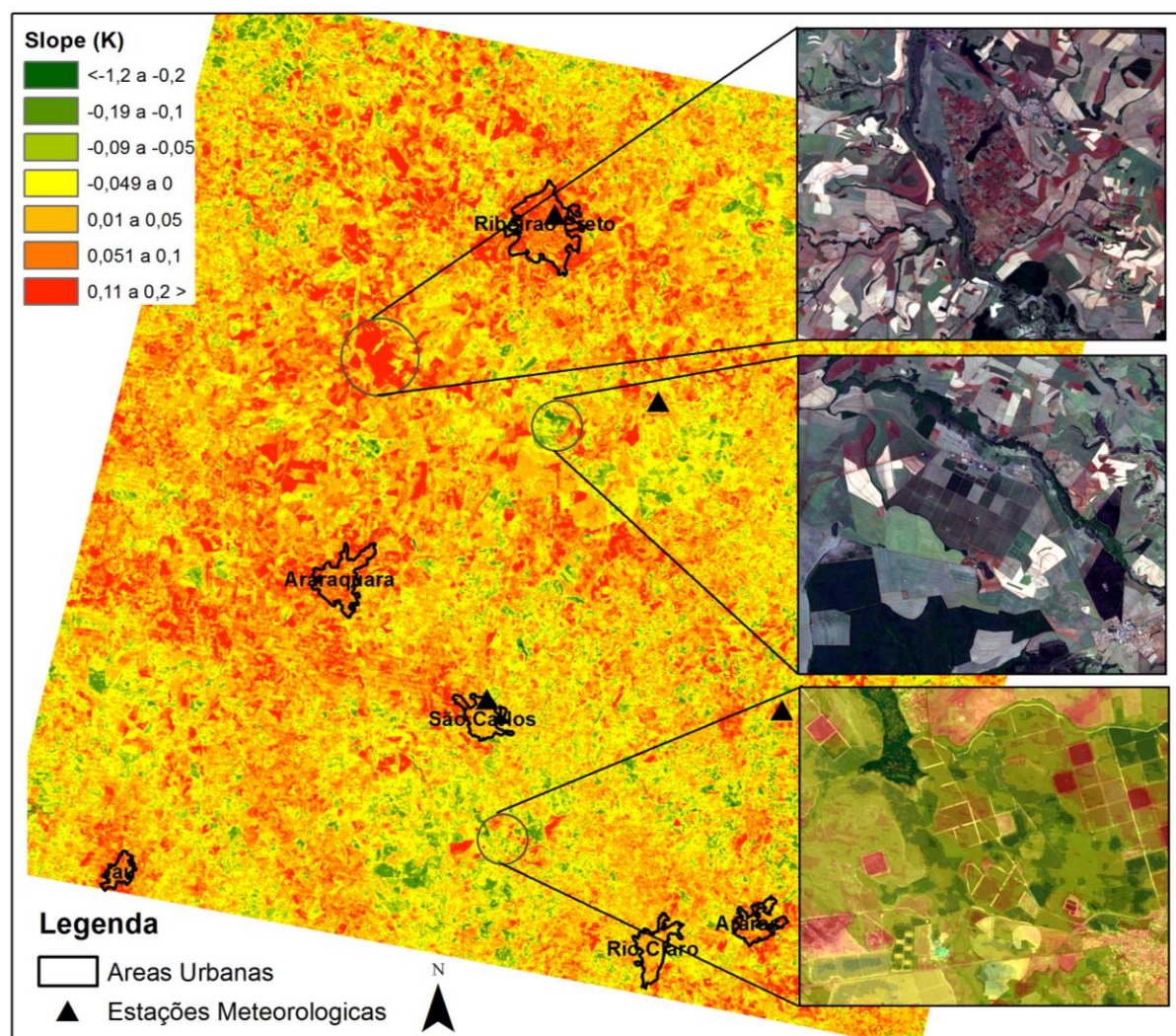


Figura 3 – Imagens dos resultados da operação de regressão, mostrando o coeficiente angular e algumas áreas em destaque. Áreas em vermelho (verde) indicam tendências mais positivas (negativas). Variação do amarelo para o laranja indica a inflexão da tendência.

Com exceção das áreas mencionadas anteriormente, as áreas agrícolas, de modo geral, apresentam tendência menos significativas, porém com maior resíduo resultante da grande variabilidade nos valores de temperatura entre os diferentes estágios fenológicos e períodos de solo exposto. Áreas com tendência de redução (aumento) da temperatura estão associadas principalmente com áreas que passaram a ter (não ter) cobertura vegetal, especialmente floresta. Neste sentido, e de forma similar ao caso de áreas agrícolas, áreas de silvicultura também não apresentam tendências principalmente pela alternância dos estágios fenológicos e o corte das árvores.

Ainda com relação ao coeficiente angular, é possível observar uma predominância de áreas com tendência ao vermelho (inflexão ocorre entre as cores amarelo e laranja). Para avaliar de forma mais efetiva esta observação, foi computada a diferença de área abrangida para índices inferiores e superiores a zero. Esta avaliação identificou que 62% da área apresenta tendência positiva, o que pode resultar como um fator importante para o aumento da temperatura admitido que a temperatura de superfície e as mudanças de uso tenham impacto significativo sobre o balanço energético.

Na tentativa de demonstrar de forma mais efetiva os resultados obtidos com a função de regressão, foram elaborados gráficos com o valor de temperatura obtido no entorno de 4 estações meteorológicas, conforme apresentado na Figura 4. Esta análise também permitiu analisar a relação entre a evolução da temperatura de superfície e a temperatura do ar para localidades específicas, sendo elaborada uma tabela comparativa apresentada adiante.

Vale mencionar que para a elaboração dos gráficos, foram encontrados alguns *outliers* resultantes de imagens ruidosas e de baixa qualidade que não puderam ser efetivamente filtradas. Estes dados foram excluídos dos gráficos, o que leva a um pequeno aumento do valor do coeficiente angular dos gráficos em relação às imagens geradas (slope).

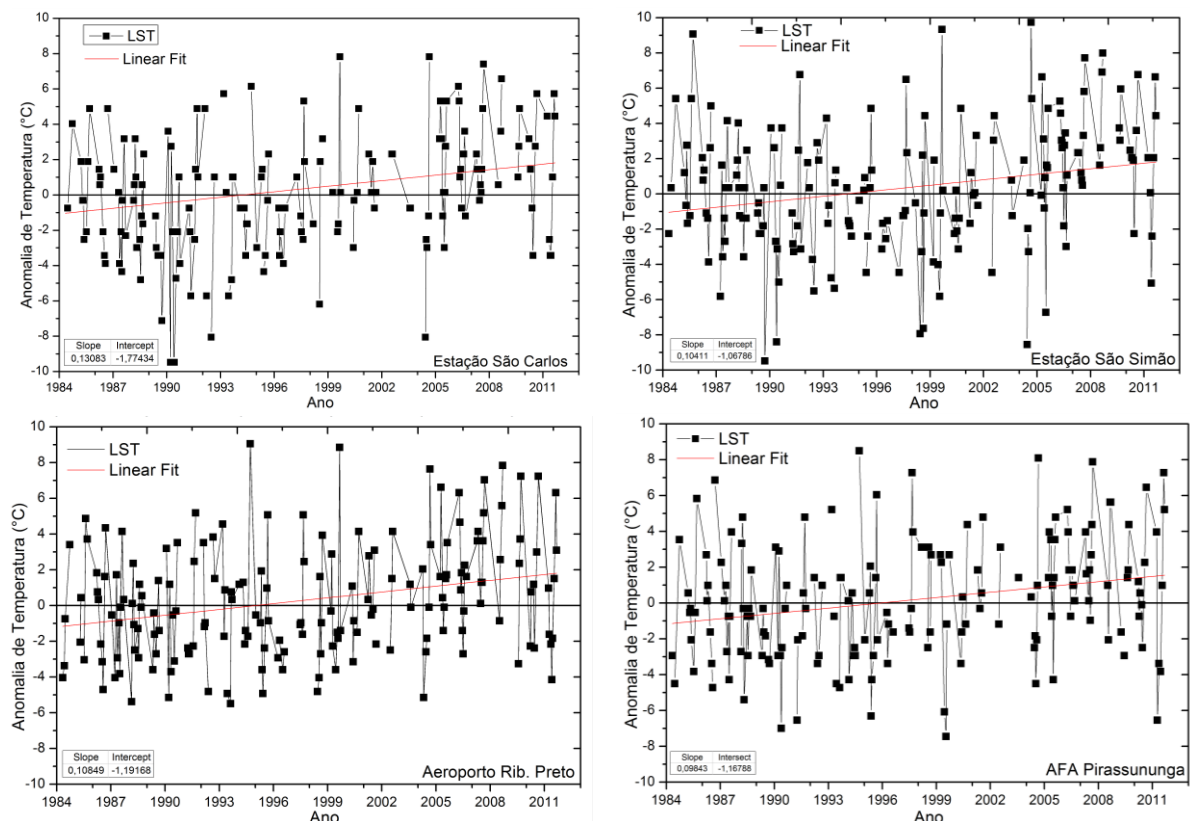


Figura 4. Gráficos mostrando o ajuste linear obtido pela extração dos pixels coincidentes com a localização das estações meteorológicas específicas.



Tabela 1. Coeficientes angulares para as retas obtidas pela aplicação de regressão linear sobre as séries temporais de temperatura de superfície (GEE) e temperatura do ar (Estações).

Localização Estação	Coeficiente angular GGE	Coeficiente angular Estações
São Carlos	0,130	0,024
São Simão	0,104	0,019
Aeroporto Leite Lopes	0,108	0,052
AFA Pirassununga	0,098	-0,015

#### 4. Conclusão

Os resultados apresentados, conforme observado principalmente através do coeficiente angular obtido pela função de regressão, sugerem, de um modo geral, o aumento da temperatura de superfície ao longo dos anos. Os coeficientes obtidos na imagem se mostraram condizentes com o que foi observado nos gráficos, indicando a sua coerência. Tendências positivas foram prevalentes sobre a área de estudo, superando 60% da área.

Vale mencionar que a filtragem apresentou problemas em algumas cenas que exibiam ruídos de difícil detecção, o que não deve interferir, no entanto, nos resultados observados. No futuro, pretende-se aplicar outros filtros específicos para garantir os melhores resultados.

Destaca-se também o potencial da plataforma Google Earth Engine para estudos desta natureza, permitindo que análises sobre uma gama enorme de informação possam ser realizadas de forma rápida e simples, o que não seria possível realizar de outra forma.

Pensando nisso, a expansão do estudo para uma área mais abrangente deve ser realizada futuramente, o que poderá, caso se mantenha a perspectiva de tendência positiva, indicar um papel de maior importância da temperatura de superfície, principalmente pela relação desta com as alterações de uso do solo, sobre o balanço energético e/ou na evolução da temperatura global.

#### 5. Agradecimentos

Expresso meus agradecimentos aos desenvolvedores e usuários do Google Earth Engine, por compartilhar os códigos que foram adaptados de acordo com os objetivos deste trabalho, em especial a Nicolas Clinton pelos códigos demonstrativos da função de regressão e a George Azzari pelo compartilhamento do código para a correção atmosférica de imagens termais, adaptado de acordo com o propósito do presente estudo.

#### 4. Referências Bibliográficas

De Laat, A. T. J. and Maurellis, A. N. (2006), Evidence for influence of anthropogenic surface processes on lower tropospheric and surface temperature trends. *Int. J. Climatol.*, 26: 897–913. doi:10.1002/joc.1292

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.

FAUSTO, Marcos Alves et al. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. *Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 350-361, June 2016.

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.

Google Inc. (2016). **Google Earth Engine API**. Disponível em: < <https://earthengine.google.com/> >. 1600 Amphitheatre Pkwy, Mountain View, CA 94043, Estados Unidos.

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.

Jimenez-Munoz, J.C.; Cristobal, J.; Sobrino, J.A.; Soria, G.; Ninyerola, M.; Pons, X.; Pons, X. Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol.47, no.1, pp.339,349, Jan. 2009, doi: 10.1109/TGRS.2008.2007125

R. B. Singh and Chenchen Shi, “Advances in Observation and Estimation of Land Use Impacts on Climate Changes: Improved Data, Upgraded Models, and Case Studies,” **Advances in Meteorology**, vol. 2014, Article ID 748169, 7 pages, 2014. doi:10.1155/2014/748169

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

Zhu, Z. and Woodcock, C. E., Improvement and Expansion of the Fmask Algorithm: Cloud, Cloud Shadow, and Snow Detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images, **Remote Sensing of Environment**, 159, p. 269–277, 2015, doi:10.1016/j.rse.2014.12.014