



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Resposta da Temperatura aos Diferentes Usos do Solo a partir de Dados de Superfície e de Sensoriamento Remoto

Afonso Assalin Zorretto¹, Vandoir Bourscheidt²

¹Graduando do Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental, Universidade Federal de São Carlos. ² Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos

Artigo recebido em 09/11/2017 e aceito em 24/07/2018

RESUMO

Devido as diferentes características termais dos materiais que compõem a superfície terrestre, as mudanças de uso do solo e a temperatura de superfície estão intrinsecamente relacionados. Um notável exemplo dessa relação são as “ilhas de calor” em grandes centros urbanos, regiões nas quais se observa um gradiente térmico em relação as áreas vizinhas e que são alvo de diversos estudos. Porém, são poucos os trabalhos que procuram avaliar as variações térmicas entre áreas com diferentes tipos de vegetação. Neste sentido, o presente trabalho analisa as variações de temperatura em três áreas com diferente cobertura vegetal utilizando dados coletados em campo e também oriundos do processamento de imagens do satélite Landsat 8. Estas imagens também foram utilizadas no sentido de avaliar as estimativas de temperatura por sensoriamento remoto em relação aos dados observados em superfície. As análises mostraram de modo geral correlação entre áreas com vegetação sadia e menores registros de temperatura, evidenciando o papel termorregulador das espécies vegetais. Com relação as estimativas por satélite, destaca-se que os valores se aproximaram dos obtidos nas coletas em campo quando correções foram aplicadas considerando parâmetros atmosféricos e de emissividade terrestre. As medidas, além de terem possibilitado a comparação entre diferentes formas de aquisição da temperatura, remotamente ou não, também serviram como instrumento para avaliar como a qualidade da vegetação (e o próprio uso do solo) impacta nas variações do campo térmico.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, temperatura de superfície, uso do solo.

Land use effects on the surface temperature evaluated by ground level and remote sensing data

ABSTRACT

Due to the different thermal characteristics of the surface constituents, changes in land use and surface temperature are intrinsically associated. Urban heat islands, with a well-defined thermal gradient in relation to neighboring areas, are a good example of this relationship and are discussed several studies. On the other hand, only few studies attempt to evaluate the thermal variations between areas with different vegetation conditions. In this sense, the present work analyzes the temperature variations in three areas with different vegetation cover using data collected in field and estimates obtained from Landsat 8 imagery. These images were also used to evaluate the temperature gathered from remote sensing data against ground-truth data. The analyzes showed a general correlation between areas with healthy vegetation and lower temperature records, demonstrating the thermoregulation role of vegetation. Regarding the satellite estimates, it is worth noting that the values approximated those obtained in field surveys when corrections for atmospheric parameters and terrestrial emissivity were applied. Besides allowing the comparison between different forms of temperature acquisition (remotely or not), the measures also served as an instrument to evaluate how vegetation quality and land use itself impacts the variations of the thermal field.

Keywords: remote sensing, surface temperature, land use.

Introdução

A temperatura, em conjunto com outros fatores abióticos, condiciona o meio ambiente, figurando como fator chave no sucesso ou fracasso de comunidades biológicas. Espécies vegetais que se desenvolvem em distintas condições de luminosidade e temperatura, por exemplo, costumam apresentar taxas de crescimento diferentes (Gouinguene e Turlings, 2002). A temperatura também desempenha papel regulador fundamental desde a fase de crescimento da plântula até a manutenção de atividades fisiológicas basais (absorção de nutrientes), influenciando taxas de germinação, troca de íons e na proliferação de odor de flores, contribuindo para a reprodução vegetal (Lopes, 2005; Vallat, 2005).

Situação inversa, em que a vegetação regula a temperatura do ambiente, também ocorre. Tema muito explorado, as ilhas de calor exemplificam esse fenômeno. Essas definem-se por áreas cuja temperatura são maiores quando comparadas com áreas suburbanas e decorrem do balanço térmico positivo que se consolida em áreas dominadas por construções civis e ausência de áreas verdes, favorecendo o acúmulo de radiação e reduzindo a circulação de correntes de ar (Oke et al., 1991; Santamouris, 2001). Estes efeitos têm sido estendidos para uma compreensão mais ampla considerando também as relações do uso do solo com as variações de temperatura na baixa troposfera, com indicações de seus efeitos associados a variações nos fluxos de calor sensível e latente (Zhang et al., 2016). A transformação entre diferentes tipos de uso do solo, por exemplo, tem indicado diferentes respostas em termos de aquecimento ou resfriamento, com tendência de aquecimento principalmente para a remoção de cobertura florestal (Fall et al., 2010).

Embora em pequenas escalas a temperatura seja considerada produto da quantidade do aporte energético recebida por determina região (Davis e Brewer, 2011), ao considerarmos áreas mais específicas, parâmetros relacionados com a paisagem passam a receber maior relevância. A temperatura de superfície é uma característica relacionada com o uso e cobertura do solo, pois estas condições determinam os fluxos de calor sensível e latente (Wang et al., 2018). Destaca-se a influência da vegetação nesse processo, já registrada na literatura, e evidenciada pela existência de correlação com grandes amplitudes térmicas, mudanças climáticas e com o clima e microclima local (Cao et al., 2018; Fu e Burgher, 2015; Shiflett, 2017).

Admitindo a correlação entre vegetação e temperatura, é possível relacionar a cobertura do solo com a temperatura observada no ambiente. Uma das formas mais eficientes de se relacionar as informações se baseia em índices de vegetação, como o índice por diferença normalizada (NDVI), que indica as condições de turgência da cobertura vegetal, logo sinalizando o vigor da vegetação (Sandholt, Rasmussen e Andersen, 2002). A aquisição e manipulação das variáveis em questão podem ser realizadas por meio do sensoriamento remoto, campo que visa a obtenção de informações observando a resposta da interação dos materiais terrestres com a radiação eletromagnética (Meneses, 2012). Diferentes satélites permitem obter imagens na região do termal, referindo-se àquelas centradas na faixa espectral do infravermelho, comumente utilizadas para aferir a temperatura de superfície (Bayat, Van Der Tol e Verhoef, 2018; Coelho e Correa, 2013).

Um grande número de trabalhos busca relacionar a temperatura obtida a bordo de satélites com medidas em superfície. Estas medidas se concentram na relação com medidas de temperatura do ar (Janatian et al., 2017; Sheng et al., 2017; Vancutsem et al., 2010; Zhu, Lú e Jia, 2013). Poucos trabalhos, no entanto, realizam a comparação direta com base no infravermelho termal, principalmente pela dificuldade instrumental de detecção na mesma faixa espectral, garantindo uma comparação efetiva.

Com base no que foi exposto, propõe-se primordialmente neste trabalho realizar análises a respeito da temperatura de superfície terrestre a partir de imagens do satélite Landsat 8, comparando estes dados com coletas em campo utilizando tanto estimativas por sensores de radiação na faixa do infravermelho (em faixa espectral similar), bem como através da temperatura do ar junto à superfície, utilizando os métodos encontrados na literatura científica. Além disso, propõe-se a mensuração do NDVI para as áreas de estudo, a fim de correlacionar tais índices com sua cobertura vegetacional e temperaturas encontradas, tanto por vias do sensoriamento remoto, quanto por vias de aquisição manual, fazendo uso de termômetros e sensores.

Material e métodos

Com a premissa de que a cobertura vegetal e o uso da terra influenciam a temperatura, propõe-se averiguar os valores de temperatura e umidade relativa em três áreas com distintos usos do solo. Esses valores foram obtidos através da realização de medidas em campo e por técnicas de

sensoriamento remoto, conforme já mencionado. Os procedimentos específicos são descritos a seguir.

Caracterização das áreas analisadas

Três áreas com características distintas foram escolhidas para avaliar como a temperatura se comportava. Os critérios de escolha foram uma extensão razoável, contar com homogeneidade de cobertura do solo. As localidades onde foram realizadas as coletas dos parâmetros estão ilustradas na Figura 1.

A primeira área compreende uma área com 37 hectares nas proximidades da Universidade

Federal de São Carlos (UFSCar) em que predomina a ocorrência de gramíneas. A segunda área é caracterizada como um remanescente de cerrado, com vegetação densa e ressequida, encontra-se no extremo norte do campus da UFSCar. Conta com uma área de aproximadamente 45,46 hectares. A terceira área, solo exposto, possui 1,82 hectares. Apesar da pequena extensão, a coleta de dados nesta área pretende fornecer informações sobre o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar em áreas desprovidas de qualquer tipo de vegetação.

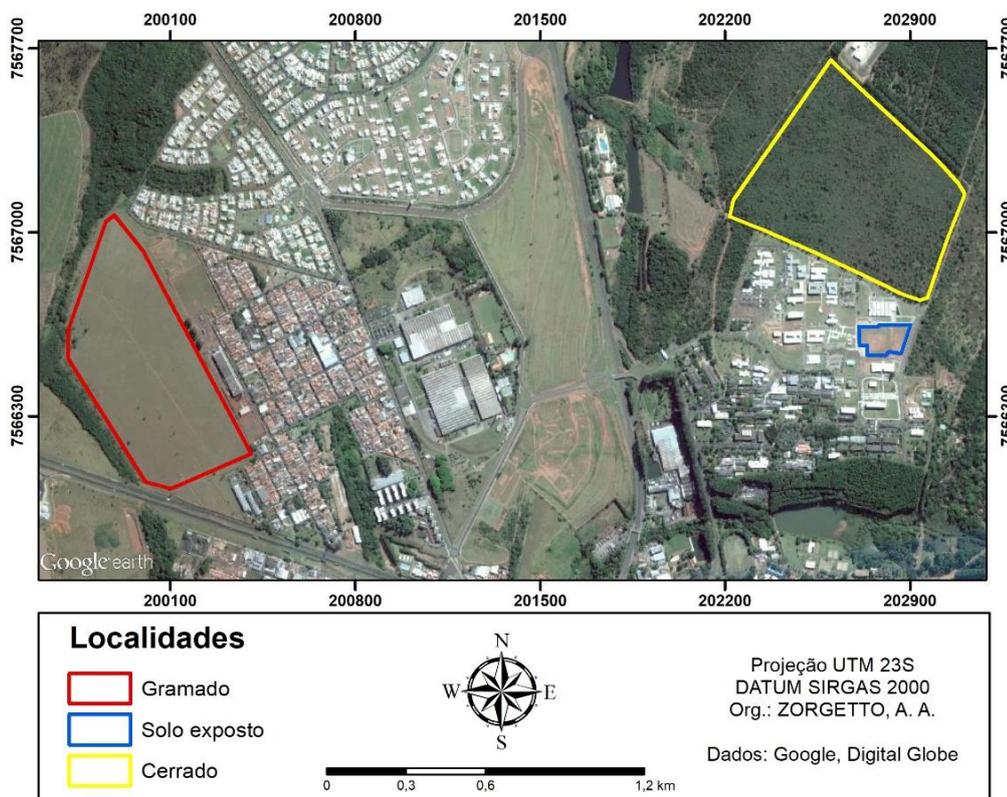


Figura 1. Figura de localização das áreas de estudo. Data da imagem: 25/05/2017.

Equipamentos utilizados

Nas medidas em campo foram utilizados um termômetro infravermelho para a coleta de amostras de temperaturas por radiação e um *datalogger* para a coleta de valores referentes a temperatura e umidade relativa do ar. O termômetro infravermelho adotado é um modelo SKTI-550, da marca Skill-Tec, que opera na faixa de 8µm até 14µm com emissividade ajustada em 0.95. Foram realizadas no mínimo 35 leituras em diferentes alvos que compunham a paisagem (i.e., gramíneas, solo, vegetação, etc.). Já o *datalogger* é um modelo HOBO U23 Pro v2 configurado para

registrar a temperatura e umidade relativa do ar a cada segundo, estando acondicionado em um abrigo do tipo RS1 (mais detalhes em <http://www.onsetcomp.com/products/mounting/rs1>). O equipamento ficou a 1 metro do solo, com exceção de um período de tempo em que este foi colocado a nível do solo a fim de observar a resposta da temperatura do ar quando coletada junto ao solo.

A coleta com ambos equipamentos foi realizada nos mesmos dias e horários da passagem do satélite Landsat 8 (órbita ponto 220/75), cuja imagem foi utilizada para estimar a temperatura de superfície do solo. O horário de passagem, com

efemérides relativamente precisas, pode ser estimado com base nas cenas anteriores, conforme mostra a Figura 2, sendo este horário aproximadamente 10:10h da manhã em hora local (GMT-3h). Já a data da passagem está disponível através do endereço <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-acquisition-calendar>.

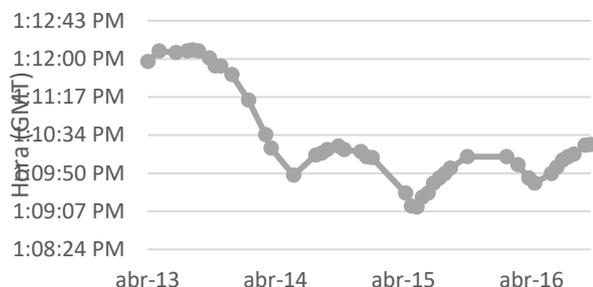


Figura 2. Horário central das imagens Landsat 8 para a órbita-ponto 220/75 desde 2013.

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha eletrônica, onde realizou-se o cálculo da média e desvio padrão dos conjuntos amostrais. Estas estatísticas serviram para comparar os valores encontrados entre as diferentes áreas descritas anteriormente, bem como métodos empregados para estimativa da temperatura. Para fins de validação das análises, dados da estação meteorológica automática do INMET (Estação UFSCar A711) também foram utilizados.

Posteriormente, estes dados foram comparados com as estimativas de temperatura de superfície por técnicas de sensoriamento remoto. Para tanto, foram calculadas a média e desvio padrão das variáveis dentro de cada área, possibilitando a comparação e correlação com a cobertura do solo. Gráficos também foram elaborados para ilustrar o comportamento da amostragem ao longo do tempo, facilitando a comparação entre as áreas.

Procedimentos em ambiente SIG

A temperatura de superfície foi estimada a partir da imagem multiespectral do satélite Landsat 8. Fazendo uso da banda 10, que opera na faixa de 10,6 – 11,19µm, é possível calcular a temperatura de brilho aparente, uma vez que o sensor é sensível às ondas longas, possibilitando a realização de estimativas no campo termal (Knight e Kvaran, 2014). A imagem utilizada para a realização deste trabalho corresponde à passagem do satélite no dia 23 de fevereiro de 2017.

Conforme descrito no site oficial do U.S. Geological Survey (USGS) e também mencionado por Coelho e Correa (2013), a forma como as imagens são processadas consiste em uma

transformação dos níveis de cinza da banda 10 da imagem Landsat 8 para radiância e, posteriormente, a conversão desta radiância previamente obtida em graus Kelvin (K). Essas transformações foram feitas utilizando a ferramenta *raster calculator* do software ArcGIS, onde a Equação 1, necessária para transformar os níveis de cinza em radiância, foi introduzida, sendo seus parâmetros satisfeitos por dados encontrados junto aos metadados da imagem Landsat.

$$L\lambda = ML * Qcal + Al \dots\dots\dots (Eq. 1)$$

em que,

- Lλ: Radiância espectral do sensor
- ML: Fator multiplicativo do redimensionamento da banda 10
- Al: Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10
- Qcal: Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (valor do pixel)

Posteriormente, a Equação 2 foi aplicada para realizar a transformação de radiância para temperatura em graus Celsius:

$$TC = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15 \dots\dots\dots (Eq.2)$$

em que,

- TC: Temperatura efetiva no topo da atmosfera em graus Celsius
- K2: Constante de calibração 2
- K1: Constante de calibração 1
- Lλ: Radiância espectral do sensor

O resultado da aplicação destas fórmulas consiste em um *raster* da temperatura aparente em graus Celsius. Um recorte das informações foi realizado para as áreas de interesse, seguido da compilação de estatísticas básicas referente a esses dados.

Estes valores foram então comparados com os referentes à coleta *in loco*, buscando avaliar a correlação com a cobertura vegetal. Para avaliar esta relação, foi utilizado o índice de vegetação da diferença normalizada:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \dots\dots\dots (Eq. 3)$$

em que,

- NDVI: Índice de vegetação da diferença normalizada
- NIR: Reflectância no infravermelho próximo medida pelos sensores

- RED: Reflectância do vermelho medida pelos sensores.

Está fórmula é embasada no fato de a clorofila absorver a radiação correspondente ao vermelho enquanto que a estrutura foliar reflete o infravermelho próximo. Dessa maneira, o índice varia de -1 a 1, em que valores negativos correspondem a áreas com ausência de vegetação (Myneni, 1995). Além disso, o NDVI exprime o quão sadia é a vegetação, fornecendo um indicativo da atividade fotossintética da vegetação (Defries e Townshend, 1994).

Além de permitir a avaliação da cobertura vegetal, o NDVI serviu como referência para calcular a temperatura de superfície com as devidas correções atmosféricas e de emissividade (Isaya Ndossi e Avdan, 2016), o que não ocorre pela aplicação da equação apresentada acima (Equação 2). Esta análise diferenciada busca considerar esses fatores no momento da aquisição da imagem e os utiliza para corrigir a temperatura estimada, aproximando os valores calculados com os dados obtidos junto à superfície. Esta estimativa foi realizada utilizando o *software* QGIS versão 2.18 e o *plugin* “Land Surface Temperature Plugin”.

A emissividade foi determinada pelo uso do algoritmo NDVI Threshold, que distingue se um pixel corresponde a uma área de solo exposto, de cobertura vegetal ou um misto dos dois. Autores consideram como limiar de 0.2 e 0.5 para os valores de NDVI em uma situação que o pixel se configura como solo exposto e como vegetação, respectivamente (Sobrinho e Raissouni, 2000). Em caso dos valores de NDVI estarem entre 0.2 e 0.5, o algoritmo faz uso da Equação 4 que estima a emissividade através da proporção de cobertura vegetal e de solo exposto, bem como considera a geometria e aspecto da área geográfica em questão:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + C \dots\dots\dots (\text{Eq. 4})$$

em que,

- ε : Emissividade
- ε_v : Emissividade da vegetação
- ε_s : Emissividade do solo
- P_v : Proporção de vegetação
- C : Efeito da geometria do solo na emissividade ($C = 0$ para superfícies planas).

Assim, é atribuído a cada pixel um valor de emissividade referente a sua classificação conforme a equação acima, sem considerar, no entanto, os efeitos da geométrica da superfície.

Já os parâmetros atmosféricos necessários para a correção foram obtidos através da

ferramenta online desenvolvida por Barsi et al. (2005), que está disponível no endereço <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>. A ferramenta busca reproduzir as condições atmosféricas do dia da passagem do satélite (com base em dados de reanálise da agência NOAA), sendo essas utilizadas então no cálculo da temperatura de superfície corrigida.

Resultados e discussão

Conforme já mencionado, dados da estação meteorológica do INMET foram utilizados como referência para analisar os valores obtidos através das coletas e estimativas realizadas com os equipamentos específicos. Como a estação fornece dados a cada hora, foi obtida a média dos valores de temperatura e umidade relativa registrados entre o intervalo das 10h00min e 11h00min, mesmo período de tempo que ocorre a passagem do satélite na região. A estação reportou para esse intervalo de tempo temperatura média de 26,7°C e 52% de umidade relativa do ar.

No que se refere às medições realizadas em campo com o termômetro infravermelho, os dados obtidos foram organizados em histogramas que ilustram a variabilidade dos dados dentro de cada área. Esta variabilidade está associada ainda com a diversidade de elementos (alvos) que formam uma mesma região. Na área de gramado, conforme observado no destaque da Figura 3, observou-se que as amostras com maiores temperaturas, de 30,2°C até 49,2°C, tiveram como alvo palha seca encontrada na região bem como pequenas parcelas de solo exposto em meio ao gramado. Observou-se também que temperaturas relativamente menores foram derivadas de alvos cuja vegetação era sadia, encontrando amostras de 21°C até 29,7°C. A temperatura média para esta área foi de 32,15°C.

Na área de solo exposto (Figura 4), uma baixa diversidade de alvos foi observada visto a inexistência de qualquer cobertura vegetal na área ou distintos elementos que compunham a paisagem. Logo, a maior parte das amostras foi derivada do solo exposto em si, justificando as elevadas temperaturas observadas. A temperatura média para este caso foi a mais elevada, de 40,76°C, confirmando a tendência deste tipo de alvo em apresentar maiores temperaturas em contrastes às parcelas que possuem algum tipo de cobertura vegetal. Eltz e Rovedder (2005) afirmam que, de fato, solos descobertos atingem maiores amplitudes térmicas, além de ocasionar outras alterações físicas provenientes da retirada de cobertura vegetal.

Já na área do cerrado foram observadas grandes discrepâncias nas medidas realizadas (Figura 5). Verificou-se que as menores temperaturas, em torno de 23°C, ocorriam em alvos que correspondiam a vegetação com aspecto sadio e coloração verde. Em contrapartida, as medidas em alvos de solo exposto retornavam temperaturas elevadas, na faixa dos 37°C. Além disso, verificou-se que as maiores temperaturas coletadas, entre 38°C até 48,9°C, eram provenientes de vegetação

seca. Este elemento costuma ter valores baixos de emissividade, o que influencia diretamente no cálculo da temperatura aparente, possivelmente elevando a sua estimativa. Destaca-se que este elemento compõe grande parcela da área de estudo em questão. Apesar da grande variabilidade, a temperatura média observada para esta área foi de 30,94°C, a menor para as três regiões.

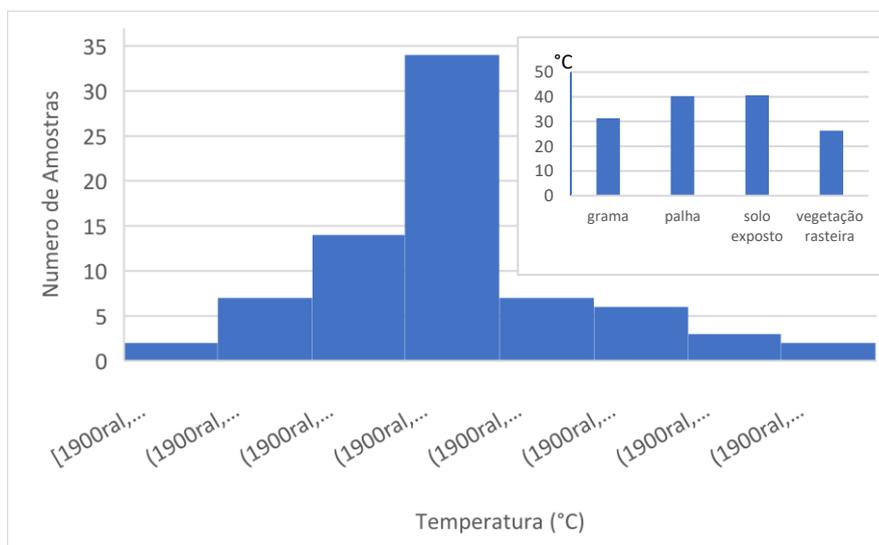


Figura 3. Distribuição das amostras de temperatura a partir do termômetro coletadas no gramado. No detalhe, as variações dentro das amostras coletadas no mesmo uso.

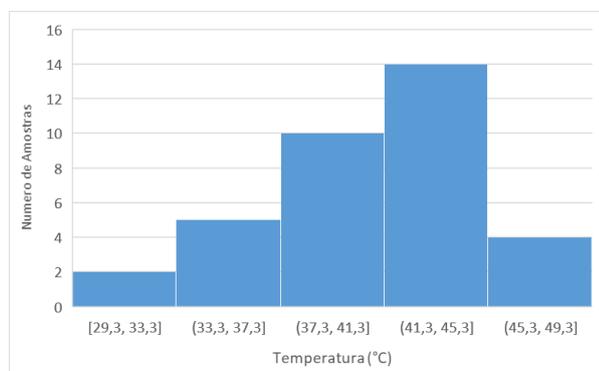


Figura 4. Distribuição das amostras de temperatura a partir do termômetro coletadas no solo exposto.

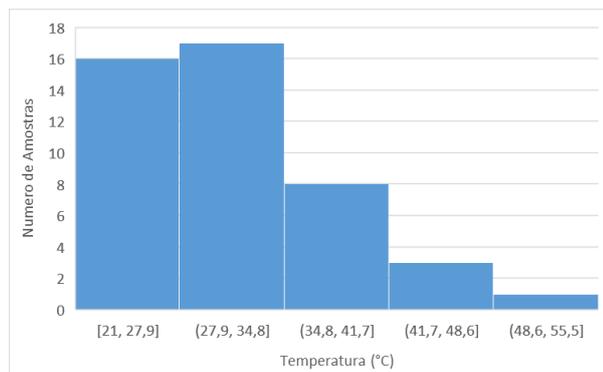


Figura 5. Distribuição das amostras de temperatura a partir do termômetro coletadas no cerrado.

Conjuntamente com a aquisição de temperatura utilizando o termômetro infravermelho, foram obtidas medidas da temperatura e umidade do ar com o *datalogger*, que foi instalado nas proximidades de onde foram realizadas as coletas previamente descritas. Os gráficos obtidos a partir destes dados são mostrados nas Figuras 6a e 6b para a temperatura e umidade relativa, respectivamente, considerando um intervalo de 20 minutos, centrado no horário de passagem do satélite Landsat 8. Estes gráficos são complementados com as estatísticas básicas organizadas na Tabela 1.

Para a área de gramado observou-se a predominância dos valores de temperatura entre 26°C e 27°C e umidade relativa oscilando em torno dos 57%. A área de solo exposto apresentou valores muito similares, também com pouca variação nos valores de temperatura e umidade relativa do ar registrados. Analisando os valores médios de temperatura na Tabela 1, é possível observar que a média para o solo exposto (26,73°) é sensivelmente inferior à média para o gramado

(26,72°), embora estatisticamente idêntica). Por outro lado, os valores médios de umidade relativa na área de solo exposto (58,8°) ficaram um pouco acima dos valores observados no gramado (57,5°), com alguma significância. Admitindo que fossem esperados valores de temperatura superiores para o solo exposto, conforme observado nas medidas com o termômetro infravermelho, é possível que o entorno desta área esteja influenciando nas medidas, com maior proximidade de corpos líquidos e vegetação, ressaltando as diferenças entre as medidas de temperatura superficial e a temperatura do ar.

Com relação às medidas para a área de cerrado, esta apresentou a maior variação (e oscilação) em termos de valores registrados tanto para a temperatura do ar quanto para a umidade relativa do ar, com valores médios superiores (inferiores) em relação às demais variáveis.

Como já mencionado, diferentes fatores podem influenciar o comportamento da temperatura e umidade relativa. Para este caso,

admite-se como uma das justificativas a estrutura da vegetação nesta área, que provavelmente dificulta a circulação do ar, influenciando na temperatura do local. Reforçando esta justificativa, Ali-Toudert e Mayer (2007) argumentam que árvores decíduas chegam a reduzir a velocidade dos ventos cerca de 30% a 40%. Isso faz com que a área tenha baixa circulação de ventos fazendo com que camadas de ar fiquem estacionadas no ambiente havendo pouca circulação. Klein (2002) reforça este fato já que no cerrado, o estado arbustivo e esparso da vegetação age como quebra-vento, condicionando um efeito estufa no microclima local, fazendo com que a temperatura se eleve. Tal fato não foi observado na área de gramado ou solo exposto, cujas áreas, em contraste, possibilitavam que a ação do vento fosse efetiva, fazendo com que a camada de ar sempre se renovasse, impossibilitando um maior aquecimento ou um aprisionamento desta massa de ar.

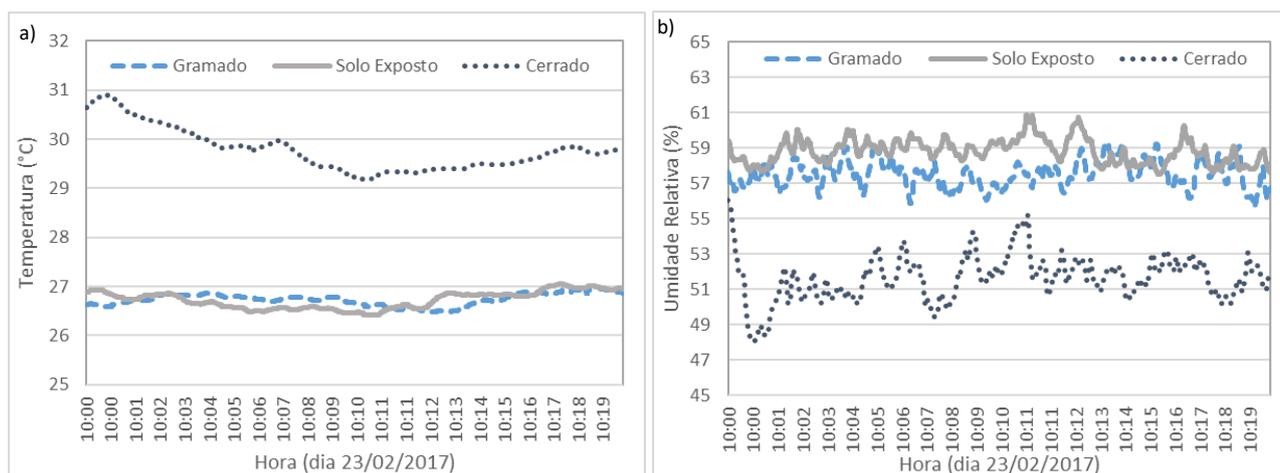


Figura 6. Variação temporal da temperatura do ar (a) e umidade relativa (b) coletadas com o datalogger para nas três áreas estudadas em um intervalo de 20 minutos.

MEDIDAS OBTIDAS COM DATALOGGER						
UMIDADE RELATIVA MÉDIA (%)			TEMPERATURA MÉDIA (°C)			
	GRAMADO	SOLO EXPOSTO	CERRADO	GRAMADO	SOLO EXPOSTO	CERRADO
MÉDIA	57,53	58,83	51,66	26,73	26,72	29,78
SD	0,76	0,70	1,29	0,13	0,18	0,43

Tabela 1. Média e desvio padrão das amostras de temperatura e umidade relativa coletadas a partir do datalogger.

A área de gramado foi ainda utilizada para avaliar o impacto da altura de coleta dos dados. A Figura 7 ilustra o comportamento da temperatura e umidade do ar no momento em que o equipamento é colocado a nível do solo (10:20), onde nota-se a elevação da temperatura do ar registrada e a

redução da umidade relativa do ar. Explica-se este acréscimo devido ao calor sensível relacionado com a irradiação provinda do solo, que diminui à medida em que nos afastamos da superfície aquecida principalmente devido aos fluxos turbulentos. Desta forma, espera-se que junto à

superfície, as medidas da temperatura de brilho (obtidas pelo termômetro e por satélite) e a temperatura do ar se aproximem.

Considerando a umidade relativa, a mesma normalmente responde diretamente à temperatura, o que não ocorre imediatamente no caso estudado. Este fato possivelmente está relacionado com o vento, presente no momento da medida, e que passa a ser praticamente para zero junto ao solo. Isto possivelmente explica a resposta tardia na diminuição da umidade e também corrobora com o aumento da temperatura observada.

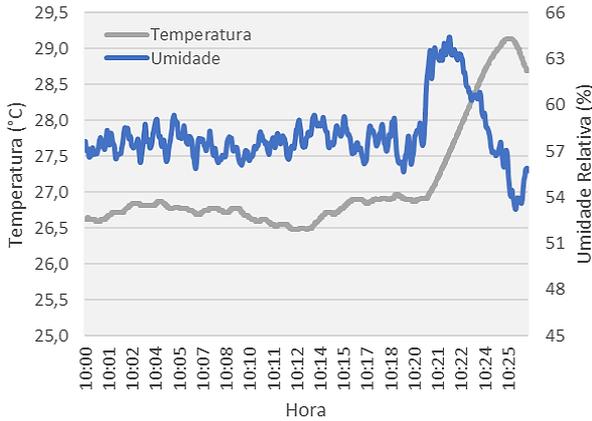


Figura 7. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar causada pelo reposicionamento do *datalogger* junto ao solo nos dados coletados na área de gramado.

A análise seguinte refere-se a estimativa da temperatura da superfície terrestre a partir das

imagens Landsat 8. A passagem do satélite ocorreu no dia 23 de fevereiro de 2017, com o intervalo de imageamento pelos sensores, para a órbita ponto em questão, tendo início às 10h09min46seg e terminando às 10h10min17seg. Após realizar o recorte da imagem no entorno das áreas de estudo, foram aplicados os procedimentos descritos anteriormente (Equações 1 e 2). O *raster* resultante é apresentado na Figura 8. Estatísticas foram calculadas dentro das limitações das áreas de estudos e estão dispostas na Tabela 2, que também traz o resumo dos valores obtidos com o levantamento no campo e com o NDVI, apresentado adiante. Como pode ser observado na figura, verifica-se que as maiores temperaturas ocorrem na área de solo exposto, seguido do gramado, e as menores sobre o cerrado.

Este resultado pode ser descrito como esperado, uma vez que a ausência de cobertura vegetal acarreta em maiores temperaturas, tendo em vista o papel regulador da vegetação, através da fotossíntese. Conforme discutido por Eltz (2015), a remoção da cobertura vegetal costuma implicar em maiores amplitudes térmicas. Ademais, uma vez que a temperatura depende de uma relação entre a energia calorífica absorvida e perdida pelo solo, ela é regulada pela cobertura vegetal, bem como pela sua tipologia e umidade (Pal e Ziaul, 2017; Prevedello, 1996).

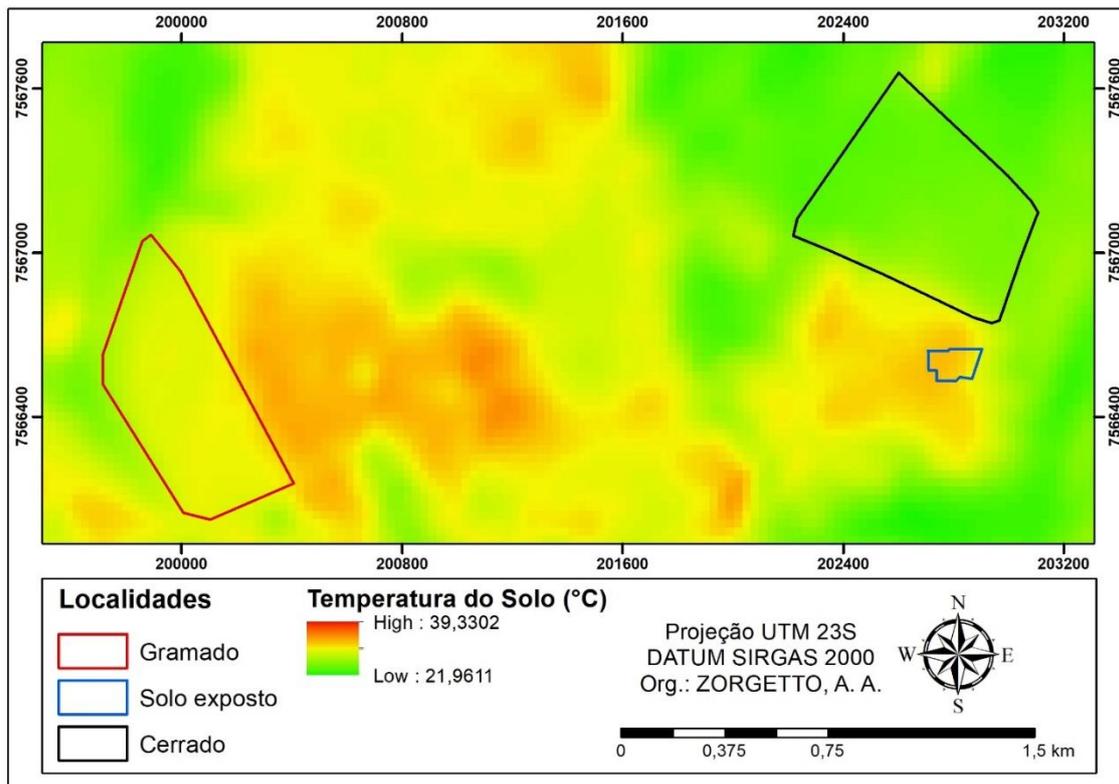


Figura 8. Temperatura de superfície terrestre estimada das áreas de interesse a partir da banda 10.

A temperatura média estimada para o cerrado, de 25,4°C, foi a menor para as áreas, em contraponto a maior média de temperatura registrada pelo *datalogger* (29,7°C), bem como em relação a temperatura registrada com o termômetro infravermelho sobre essa mesma região (30,94°C). Embora as discrepâncias fossem esperadas para a estimativa por satélite e a temperatura do ar, ainda ocorre uma diferença significativa entre o valor estimado e o observado na amostragem com o termômetro, que, tal qual o satélite, capta a temperatura de superfície na mesma faixa espectral.

Estas diferenças possivelmente estão associadas com dois aspectos. O primeiro refere-se aos efeitos atmosféricos, visto que a temperatura estimada pelas equações 1 e 2 retornam a temperatura considerando o topo da atmosfera (Isaya, Ndossi e Avdan, 2016). Estes aspectos serão discutidos adiante, nos resultados relacionados com a correção atmosférica.

O segundo aspecto diz respeito a mistura espectral causada pelas variações da vegetação da área de estudo influencia na leitura da irradiância pelos sensores do satélite, visto que o pixel compreende uma área de 30 metros. Dessa forma, a imagem de satélite não só registra algumas parcelas de solo como também registra a copa da vegetação e áreas sombreadas, que não ocorrem

nas outras áreas amostradas. Além disso, alvos como plantas vivas, folhas verdes e caules apresentam normalmente valores de temperatura menores perante a temperatura do solo. Amostras de folhas verdes registraram temperatura de superfície de até 21°C enquanto que alvos referentes ao solo do cerrado resultaram em valores de até 37°C. Desta maneira, justifica-se a interferência causada pela vegetação na temperatura adquirida pelo tratamento de imagem de satélite.

Este fato é reforçado pelo índice de vegetação por diferença normalizada, NDVI, cujo *raster* é apresentado na Figura 9 e as estatísticas resumidas na Tabela 2. Constata-se pelo produto gerado que o valor de NDVI para o cerrado corresponde ao mais alto dentro as demais áreas analisadas, com média de 0,4. Para solo exposto foi encontrado o menor valor médio (0,21) e para o gramado encontrou-se um valor intermediário (0,33). Conforme afirmam Yuan e Bauer (2007): valores mais baixos de temperatura de superfície do solo são geralmente encontrados em áreas cujo NDVI são consideravelmente altos. Estas afirmações foram confirmadas quando consideradas as medidas através do termômetro infravermelho e por meio do geoprocessamento (imagens de satélite).

VALORES MÉDIOS - TEMPERATURA (°C) E NDVI				
	TERMÔMETRO	DATALOGGER	LANDSAT 8	NDVI
GRAMADO	32,15	27,00	28,9	0,33
SOLO EXPOSTO	40,76	26,80	30,8	0,21
CERRADO	30,94	29,70	25,4	0,40

Tabela 2. Temperaturas médias obtidas pelos diferentes métodos utilizados no estudo para as áreas abordadas bem como o valor médio do NDVI.

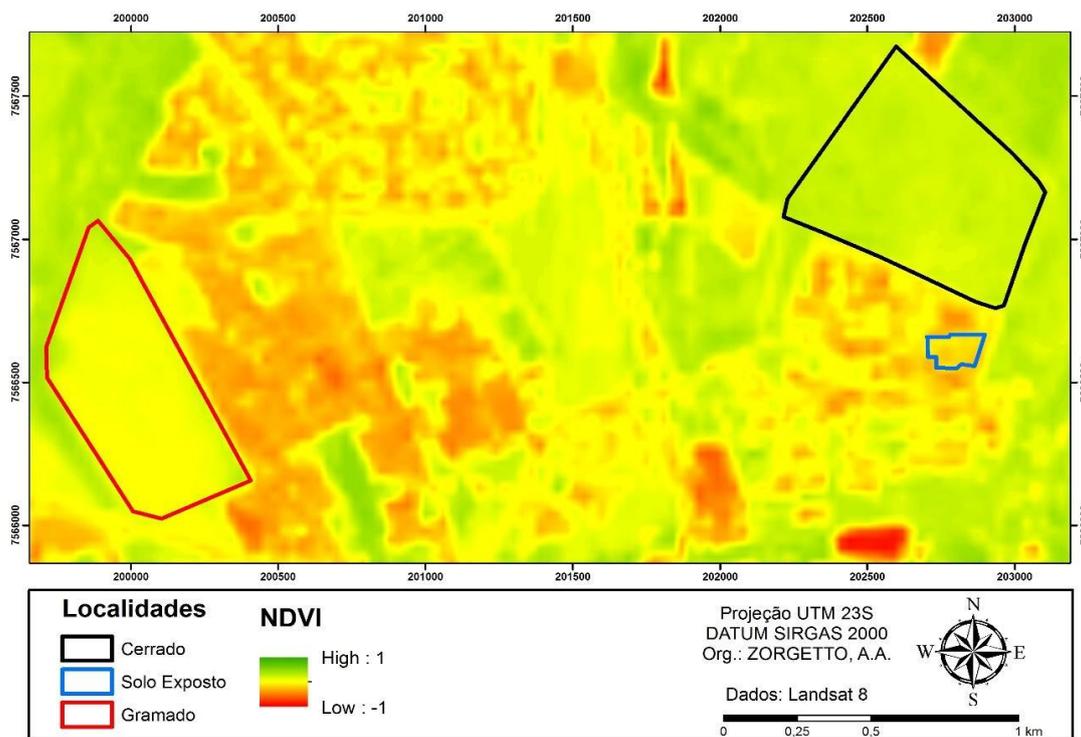


Figura 9. NDVI das áreas de interesse obtido através do geoprocessamento da banda 10 proveniente da imagem Landsat 8.

Por fim, retomando a questão relativa aos efeitos da atmosfera sobre a estimativa de temperatura, a Figura 10 apresenta a temperatura de superfície corrigida para efeitos atmosféricos e de emissividade, a partir da aquisição da radiância, temperatura de brilho, NDVI e emissividade da superfície terrestre, conforme procedimentos descritos na metodologia. A Tabela 3 apresenta as estatísticas comparativas entre os diferentes métodos. Nota-se que quando a correção

atmosférica é considerada para a estimativa, os valores estimados tendem a se aproximar da média obtida através da amostragem pelo termômetro. Evidenciando este fato, percebe-se que a média da temperatura estimada do solo para o cerrado, quando consideramos a correção atmosférica, é equivalente a 29,9 °C, muito próximo da média obtida através da amostragem pelo uso do termômetro, cuja média é equivalente a 30,94 °C.

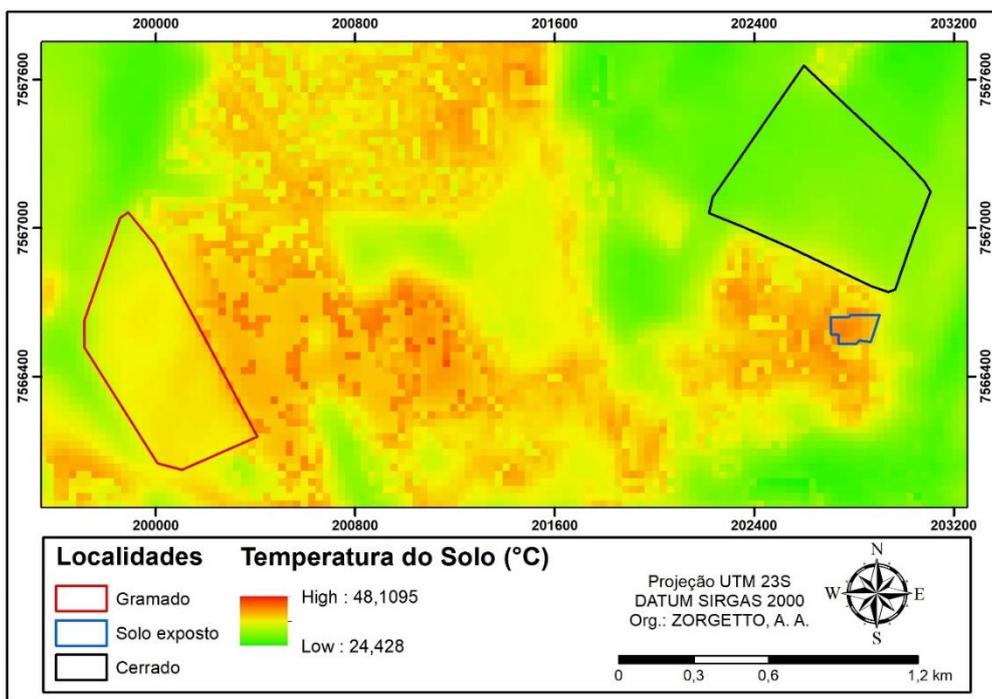


Figura 10. Temperatura de superfície terrestre estimada das áreas de interesse com correção atmosférica, a partir da banda 10 do satélite Landsat 8.

VALORES MÉDIOS (DESVIOS) - TEMPERATURA (°C)			
LOCAL	TERMÔMETRO	LANDSAT 8	LANDSAT 8 Corrigida
GRAMADO	32,15 (5,61)	28,9 (0,64)	35,2 (0,98)
SOLO EXPOSTO	40,76 (4,21)	30,8 (0,41)	38,8 (0,67)
CERRADO	30,94 (7,05)	25,4 (0,81)	29,9 (1,20)

Tabela 3. Comparação entre os valores médios e desvio padrão obtidos através das diferentes técnicas remotas (termômetro infravermelho, imagens termais e imagens termais com correção).

De forma geral, os valores estimados quando consideramos os parâmetros atmosféricos mostraram-se mais próximos da realidade, ou seja, com o que verificado em campo por meio do termômetro de infravermelho. O método, portanto,

mostrou maior precisão na estimativa, evidenciando sua importância como ferramenta para estimar a temperatura de superfície do solo.

Conclusão

O presente estudo analisou três áreas com coberturas do solo distintas, a fim de averiguar os impactos dos diferentes usos do solo sobre a temperatura, obtida por meio de diferentes técnicas e instrumentos.

Concordando com as observações presentes na literatura, verificou-se que, de fato, a presença de vegetação proporciona menores temperaturas da superfície do solo, tendo em vista os valores encontrados e calculados e relacionando-os com o NDVI, confirmando que elementos vegetacionais dotados de atividade fotossintética estão correlacionados com temperaturas de superfície mais amenas.

Entretanto, é interessante salientar que a despeito da presença de cobertura vegetal reduzir a temperatura do solo, a mesma pode bloquear a ação de outros fatores, como a ação dos ventos, possibilitando, por outro lado, que a temperatura do local se eleve. Ademais, foi observado durante o estudo que diferentes alvos respondem de forma diferente à aferição da temperatura, visto que cada alvo possui características físicas específicas, bem como sua distinta assinatura espectral. No cerrado, alvos como troncos secos e folhagem ressecada apresentaram temperaturas muito acima das observadas em elementos vivos da natureza, como folhas verdes e caules de árvores.

Os instrumentos para a aplicação deste projeto mostraram-se eficazes frente as análises exigidas pelo mesmo. Os dados coletados da

temperatura do ar puderam ser confirmados através dos dados fornecidos pela estação automática A711, subordinada ao INMET. A aplicabilidade do SIG para a aquisição da temperatura de superfície mostrou-se satisfatória, havendo discrepâncias de alguns graus Celsius.

A despeito destas, a conversão dos níveis de cinza para radiação, e posteriormente para °C das cenas Landsat 8 mostraram que apenas procedimento não produz dados satisfatórios, tendo em vista a clara diferença entre os valores estimados e observados. Todavia, salientamos que ao considerar os fatores de correção atmosférica e

de emissividade terrestre, e aplicando-os sobre a cena em questão, foi possível obter estimativas que se aproximaram de forma mais significativa do que foi observado em campo.

De forma geral, os dados produzidos foram suficientes para demonstrar a relação entre a temperatura e o NDVI, bem como validar as estimativas geradas com base nas coletas realizadas em campo, realçando a importância da ferramenta do geoprocessamento no processo de análise de áreas naturais sensíveis e também no monitoramento temporal de aspectos físicos e climatológicos.

Referências

- Ali-Toudert, F., Mayer, H., 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81, 742-754.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi F.D., Hook, S.J., 2005. Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments. *The International Society for Optics and Photonics* [online] 5882. Disponível: <https://doi.org/10.1117/12.619990>. Acesso: 5 mai. 2017.
- Bayat, B., Van Der Tol, C., Verhoef, W., 2018. Integrating satellite optical and thermal infrared observations for improving daily ecosystem functioning estimations during a drought episode. *Remote Sensing of Environment*, 209, 375-394.
- Cao, R., Shen, M., Zhou, J., Chen, J., 2018. Modeling vegetation green-up dates across the Tibetan Plateau by including both seasonal and daily temperature and precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 176-186.
- Coelho, A.L.N., Correa, W. de S.C., 2013. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7, 31-45.
- Davis, B.A., Brewer, S., 2011. A unified approach to orbital, solar, and lunar forcing based on the Earth's latitudinal insolation/temperature gradient. *Quaternary Science Reviews*, 30, 1861-1874.
- Defries, R.S., Townshend, J.R.G., 1994. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3567-3586.
- Eltz, F., Rovedder, A.P., 2005. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. *Current Agricultural Science and Technology*, 11, 193-200.
- Fall, S., Niyogi, D., Gluhovsky, A., Pielke, R.A., Kalnay, E., 2010. 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*, 30, 1980-1993.
- Fu, B., Burgher, I., 2015. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. *Journal of Arid Environments*, 113, 59-68.
- Gouinguéné, S.P., Turlings, T.C.J., 2002. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. *Plant Physiology*, 129, 1296-1307.
- Isaya Ndossi, M., Avdan, U., 2016. Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: A PYQGIS plugin. *Remote Sensing*, 8, 413-444.
- Janatian, N., Sadeghi, M., Sanaeinejad, S.H., Bakhshian, E., Farid, A., Hashemina, S.M., Ghazanfari, S., 2017. A statistical framework for estimating air temperature using MODIS land surface temperature data. *International Journal of Climatology*, 37, 1181-1194.
- Klein, A.L., 2002. Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois, 1 ed. Editora da UNESP/Imprensa Oficial do Estado, São Paulo.
- Knight, E.J., Kvaran, G., 2014. Landsat-8 operational land imager design, characterization and performance. *Remote Sensing*, 6, 10286-10305.
- Lopes, J.C., Capucho, M.T., Martins Filho, S., Repossi, P.A., 2005. Influência de temperatura, substrato e luz na germinação de sementes de beralha. *Revista Brasileira de Sementes*, 27, 18-24.
- Meneses, P.R., Almeida, T., Santa Rosa, A.N.C., Sano, E.E., Souza, E.B., Baptista, G.M.M.,

- Brites, R.S., 2012. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto, 1 ed. Universidade de Brasília/CNPq, Brasília.
- Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J., Marshak, A.L., 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 481-486.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., Watson, I.D., 1991. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56, 339-358.
- Pal, S., Ziaul, S., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, 125-145.
- Prevedello, C.L., 1996. Física do solo com problemas resolvidos, 1 ed. Salesward-Discovery, Curitiba.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J., 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, 79, 213-224.
- Santamouris, M., 2001. Energy and climate in the urban built environment, 1 ed. Routledge, Oxfordshire.
- Sheng, L., Tang, X., You, H., Gu, Q., Hu, H., 2017. Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. *Ecological Indicators*, 72, 738-746.
- Shiflett, S.A., Liang, L.L., Crum, S.M., Feyisa, G.L., Wang, J., Jenerette, G.D., 2017. Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. *Science of the Total Environment*, 579, 495-505.
- Sobrino, J.A., Raissouni, N., 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 353-366.
- Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T., Connor, S.J., 2010. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. *Remote Sensing of Environment*, 114, 449-465.
- Wang, S., Ma, Q., Ding, H., Liang, H., 2018. Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 526-534.
- Yuan, F., Bauer, M.E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106, 375-386.
- Zhang, W., Xu, Z., Guo, W., 2016. The impacts of land-use and land-cover change on tropospheric temperatures at global and regional scales. *Earth Interactions*, 20, 1-23.
- Zhu, W., Lü, A., Jia, S., 2013. Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, 130, 62-73.