

Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones

Josiclêda Domiciano Galvincto. Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente_PRODEMA. e-mail; josicleda@gmail.com

Artigo recebido em 17/09/2019 e aceito em 01/12/2019

RESUMO

A cada dia tem aumentado e diversificado os problemas relacionados as questões ambientais causando sérios impactos sociais, um deles é o aumento da temperatura global. Assim, estudar a variação espacial e temporal de temperatura se torna cada vez mais importante. As informações espaciais e temporais da temperatura são bastante escassas porque geralmente o monitoramento de dados meteorológicos é da precipitação. Com as novas tecnologias algumas metodologias vêm sendo desenvolvidas para estimar a temperatura da superfície. Assim, o objetivo deste estudo foi utilizar imagens de drones para estimar a temperatura superfície e verificar preliminarmente a sua precisão. Os resultados obtidos mostraram que são bastantes promissores o uso de drones para estimativas da temperatura da superfície quando comparadas com dados observados. Esses acertos estiveram acima de 90%. Conclui-se que é possível obter estimativa precisas de temperatura da superfície com imagens de drones.

Palavras-chave: mudanças climáticas, calibração radiométrica, análise ambiental.

Estimation of surface temperature with images obtained with drones

ABSTRACT

Every day has increased and diversified the problems related to environmental issues causing serious social impacts, one of them is the increase in global temperature. Thus, studying the spatial and temporal variation of temperature becomes increasingly important. Spatial and temporal temperature information is quite scarce because generally monitoring meteorological data is precipitation. With the new technology's some methodologies have been developed to estimate the surface temperature. Thus, the aim of this study was to use drone images to estimate surface temperature and preliminary verify its accuracy. The results showed that are very promising this estimates when compared with observed data were above 90% of success. It is concluded that it is possible to obtain accurate estimate of surface temperature with drone images.

Keywords: climate change, radiometer calibration, environmental analysis.

Introdução

A cada dia tem aumentado e diversificado os problemas relacionados as questões ambientais causando sérios impactos sociais, um deles é o aumento da temperatura global. Esses problemas estão se apresentando em todas as áreas do conhecimento seja de saúde, social, econômico, recursos hídricos, agrícolas, energético, geográfico, biológico, das engenharias, estatísticos, matemáticos etc. Neste sentido a interdisciplinaridade nos estudos se tornam cada vez mais necessários. Em relação ao clima diferentes estudos têm apontado os impactos das alterações climáticas no mundo e suas consequências. Os padrões climáticos estão

mudando no mundo. Assim, os impactos das mudanças climáticas, a alteração na frequência da precipitação e secas mais intensas e prolongadas, ocorreram particularmente em áreas áridas e semiáridas, Assis et al., (2012). O aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos nas últimas décadas tem sido apontado como evidência de mudanças climáticas tanto no nível global como nos níveis regionais e locais, Oliveira et al., (2014).

Segundo Lima et al., (2016) as variações climáticas ocorridas nos últimos anos têm ocasionado alterações nos padrões de temperatura e no regime de chuva. Essas alterações exercem influência nas questões de ordens ecológicas e no equilíbrio das populações humanas, provocando enchentes, secas e inundações, com isso impactos

na biodiversidade como também o aparecimento de epidemias. Os processos estocásticos de natureza espaço-temporais consistem em fenômenos que são caracterizados por meio da variabilidade espacial e temporal, Viana et al., (2019). O entendimento desses processos é importante para a caracterização de diferentes fenômenos socioambiental. Essa é uma das áreas de maior crescimento com diversas aplicações em ciências ambientais, geográficas, biológicas, epidemiológicas, entre outras.

Assim, o clima e seus impactos têm exercido importante papel na ciência. Estudar como ele está se modificando e como são seus padrões em diferentes escalas espaciais e temporais estão sendo cada vez mais necessários uma vez que podem estar relacionados a diferentes problemas sociais, econômicos, biológicos, ambientais e até mesmo a sobrevivência humana. Maier et al., (2016) em seu estudo discute os principais padrões médios e anômalos da precipitação sobre a América do Sul no período 1979–2008. Os autores mostram que a frequência de recorrência dos estresses hídricos varia entre 20 e 60 meses. Essas informações apresentadas por Maier et al., (2016) são de suma importância uma vez que segundo Aleixo e Silva Neto (2015) a relação entre a variabilidade climática e o cotidiano da população constitui-se no enfoque importante da climatologia, evidenciando diferentes impactos socioambientais no espaço. Diferentes estudos têm avaliado as tendências nas temperaturas no sentido de apontar as mudanças que tem ocorrido nos diferentes lugares e quais os sistemas que estão relacionados a essas mudanças, Gomes et al., (2016), Oliveira et al., (2015); Ribeiro et al., (2014), Silva et al., (2016). Esses estudos são de suma importância pois através deles é possível mostrar que as mudanças climáticas impactam de forma diferente em diversas partes do mundo. O estudo mais detalhado se torna cada vez mais importante e novas tecnologias são necessárias para este detalhamento.

Devido ao crescimento populacional ao longo dos séculos e, conseqüentemente, a expansão das cidades, cada vez mais é notável a influência de ações antrópicas, causadoras de distúrbios nos ecossistemas naturais nas diferentes escalas. Como conseqüências os impactos nas áreas rurais e urbanas, Spinelli et al., (2016). Souza et al., (2016) afirma que devido as chuvas extremas e ao mau uso do solo, tem ocorrido desastres naturais em diferentes capitais do mundo sendo o mais comuns as inundações, os deslizamentos e os desabamentos. Assim, Araújo e Fonseca (2016) informa que a análise multitemporal é importante para comparar uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, auxiliando no monitoramento das suas dinâmicas. Silva et al., (2017) se utiliza

técnicas e tecnologias para identificar os padrões climáticos históricos com o intuito de avaliar os eventos extremos que causam grandes desastres naturais. Segundo Costa e Silva (2017) o monitoramento de eventos de precipitação irregular pode ser realizado através da utilização de índices de verificação climática. Esses índices podem ser obtidos com dados de sensoriamento remoto.

Uma alternativa bastante promissora dos dias atuais são os drones. Para Simões et al., (2019) os drones é uma alternativa para o levantamento de fotografias áreas que vem crescendo no mundo e no Brasil. Drones estão transformando a forma como sentimos e interagimos com o meio ambiente. No entanto, apesar de suas capacidades aumentadas, o uso de drones em ciências geofísicas geralmente se concentra na aquisição de imagens para gerar mapas de alta resolução. Motivados pela crescente demanda por metodologias observacionais geofísicas inovadoras e de alto desempenho, alguns estudos têm avaliado a integração da tecnologia de drones e sensoriamento óptico para uma caracterização quantitativa dos fenômenos do fluxo de superfície.

Diferentes estudos têm se utilizado de drones para caracterizar os recursos naturais e avaliar impactos ambientais, Schirmbeck (2017). Vieira et al., (2017), Yurovskaya et al., (2018), Kotivuori et al., (2020), Bandini et al., (2020). É possível utilizar ferramentas de sensoriamento remoto para avaliar diferentes fases de uso e ocupação do solo, apresentando diferentes causas de sua variação espaço-temporal, incluindo mudanças nos recursos hídricos, na vegetação e conseqüentemente na ocupação urbana, Assis et al., (2014).

Existem diferentes drones desde mais simples ao mais sofisticado. Um deles é o Mavic 2 Enterprise Dual. Este drone possui quatro sensores e duas câmeras uma visível e outra termal FLIR Lepton (microcâmera). O imageamento é feito na extensão MSX ou imageamento dinâmico multiespectral em tempo real. O objetivo principal desse drone é identificar rapidamente áreas críticas de um objeto, ajudando os pilotos a monitorar e medir objetos críticos ou perigosos, mantendo uma distância segura e que podem ser imediatamente visível ao olho. Nesses drones é possível obter a isotérmica que permite que os pilotos designem faixas de temperatura específicas a serem exibidas usando uma paleta de cores personalizada, para que os objetos dentro da faixa transmitam maior contraste e melhor visibilidade. Esse recurso inclui perfis personalizados para ajudar os pilotos de busca e resgate na identificação de pessoas e para os bombeiros identificarem pontos quentes em

incêndios, além de uma configuração de perfil personalizada para maior flexibilidade.

Assim, os drones aparecem como uma ferramenta tecnológica de grande importância para utilização em diferentes áreas do conhecimento. Porém, ainda existe um grande desafio no uso dos seus dados de forma mais efetiva e precisa. As imagens de drones precisam ser calibradas e seu número digital transformado em reflectância. Estudos que tenham como base a dispersão da luz podem ajudar neste entendimento e transformação dos números digitais das imagens de drones em reflectância. Assim, os modelos baseados na desmistificação espectral baseado na Equação de Transferência Radiativa (RTE) pode ser utilizada para entender os fatores, efeitos e influências associados ao sombreamento ou espalhamento múltiplo, Singh (2015).

Diante das questões expostas e dos desafios de auxiliar na solução dessas questões o objetivo deste estudo é avaliar a estimativa da temperatura eficiência da utilização de imagens de drones para estimativa da temperatura da superfície.

Material e métodos

Área em estudo

A imagem foi obtida para o plano de voo, Figura 1, localizada nas coordenadas -7.853324 e -35.235512 no estado da Pernambuco, Brasil. O voo ocorreu em 04/02/2020 as 11:23h tempo local. O tempo de voo foi de 7min19s, com dimensões de 100x100m, sobreposição de 50x50%, ângulo de inclinação da câmera de 90°, a altitude do voo de 50m e caminho de 446m. Foram obtidas 19 imagens do visível (Red- 660nm, Green550 nm, Blue 470nm) da câmera modelo FC2103_4.5_4056x3040 e do termal do drone MAVIC 2 Enterprise Dual. O voo tinha as seguintes características: Distância média de amostragem na superfície - Ground Sampling Distance (GSD) de 1.67cm / 0.66in, área de cobertura 0.020km² / 2.0412ha / 0.01sq. mi. / 5.0466 acres e média de 10970 pontos por imagem. Foram obtidas o ortomosaico, nuvens de pontos, nuvens de pontos, temperatura média, mínima e máxima, e o mapa de temperatura. As imagens são de 8 bits, ou seja, 256 níveis de cinza.

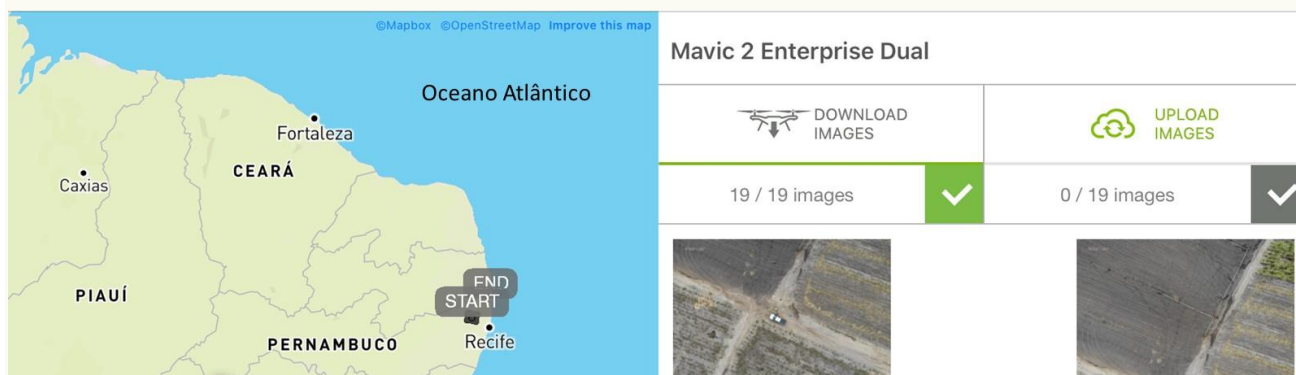


Figura 1 – Localização espacial do imageamento em estudo. Start e END é o início e fim do plano de voo.

Para comparação das imagens termais obtidas com drones e a temperatura da superfície foi utilizado os dados da PCD-Plataforma de Coleta de Dados localizada a 500 metros da área de imageamento.

Como as imagens cobria apenas as faixas do visível e do termal foi utilizado a equação proposta por Arai et al., (2016) para obtenção da

banda Infravermelho Próximo-NIR utilizando as bandas do visível. Foi utilizada a banda do verde para obtenção da banda NIR utilizando a equação 1:

$$\text{NIR} = (\text{Bandaverde} - 360,6) / -1,1941 \quad \text{Eq. 1}$$

Para obtenção das reflectâncias das bandas 1, 2, 3 e 4 (NIR) foi utilizado a irradiância espectral no topo da atmosfera, Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das bandas com os correspondentes intervalos de comprimento de onda e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera terrestre (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda (nm)	Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
1 (azul)	470	1957
2 (verde)	550	1826
3 (vermelho)	660	1554
4 (Infravermelho)	775	1036
5 Termal	10500	80,67

A refletância monocromática foi obtida para cada banda usando a equação proposta por Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2002; Silva et al., 2005:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$, Tabela 1), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA), que de acordo com Iqbal (1983), é dada por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DSA \cdot 2\pi / 365) \quad (\text{Eq.3})$$

onde DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1,00 e ele varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente.

Quando a área de estudo tem pequena, ou mesmo declividade nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol – E , que se encontra no cabeçalho da imagem, ou seja:

$$\cos z = \cos(90 - E) \quad (\text{Eq. 4})$$

em que o argumento da função \cos está em graus.

Quando a área em estudo possui inclinação considerável é importante utilizar o Modelo Digital de Elevação que com drones é possível obter essa informação quando o voo possui uma boa sobreposição em x e y .

Neste estudo foram obtidos os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF através das equações propostas por Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2002; Silva et al., 2005:

O Índice de Área Foliar (IAF) foi obtido utilizando a equação 5:

$$\text{IAF} = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{0,91} \quad (\text{Eq.5})$$

Emissividades

A emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB} , qual seja: $10,5 \mu\text{m}$

foi obtida utilizando as equações 6 e 7. Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para $\text{NDVI} > 0$ e $\text{IAF} < 3$, segundo:

$$\varepsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,00331 \text{IAF} \quad (\text{Eq.6})$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{IAF} \quad (\text{Eq. 7})$$

Para pixels com $\text{IAF} \geq 3$, $\varepsilon_{\text{NB}} = \varepsilon_0 = 0,98$.

Temperatura da Superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizadas a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} . Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela seguinte expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{\text{NB}} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (\text{Eq. 8})$$

onde $K_1 = 607,76 \text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{K}$ são constantes de calibração da banda termal utilizadas para o Landsat 5 –T (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005). Essas constantes foram utilizadas para as imagens de drones aqui processadas.

Resultados e discussão

A Figura 2 mostra a imagem RGB do visível e a Figura 3 a imagem termal da área em estudo. Quanto mais branco na imagem termal mais alta a temperatura. Em 500 metros de distância dessa área tem uma estação meteorológica de responsabilidade da Agência Pernambucana de Água e Clima-APAC. Nessa estação entre 10 e 11 horas local, horário do imageamento, foram registradas as seguintes temperaturas: temperatura média do ar $30,5^{\circ}\text{C}$, temperatura do ar no instante de 10h, $29,2^{\circ}\text{C}$ e as 11h $31,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Temperatura média do solo/superfície de 32°C . No momento do imageamento as condições meteorológicas apresentavam uma umidade relativa do ar de 75% e velocidade média do vento de $4 \text{m}^3/\text{s}$. Neste dia choveu 3,2mm.



Figura 2 – Imagem do visível (RBG-123-Cor verdadeira)

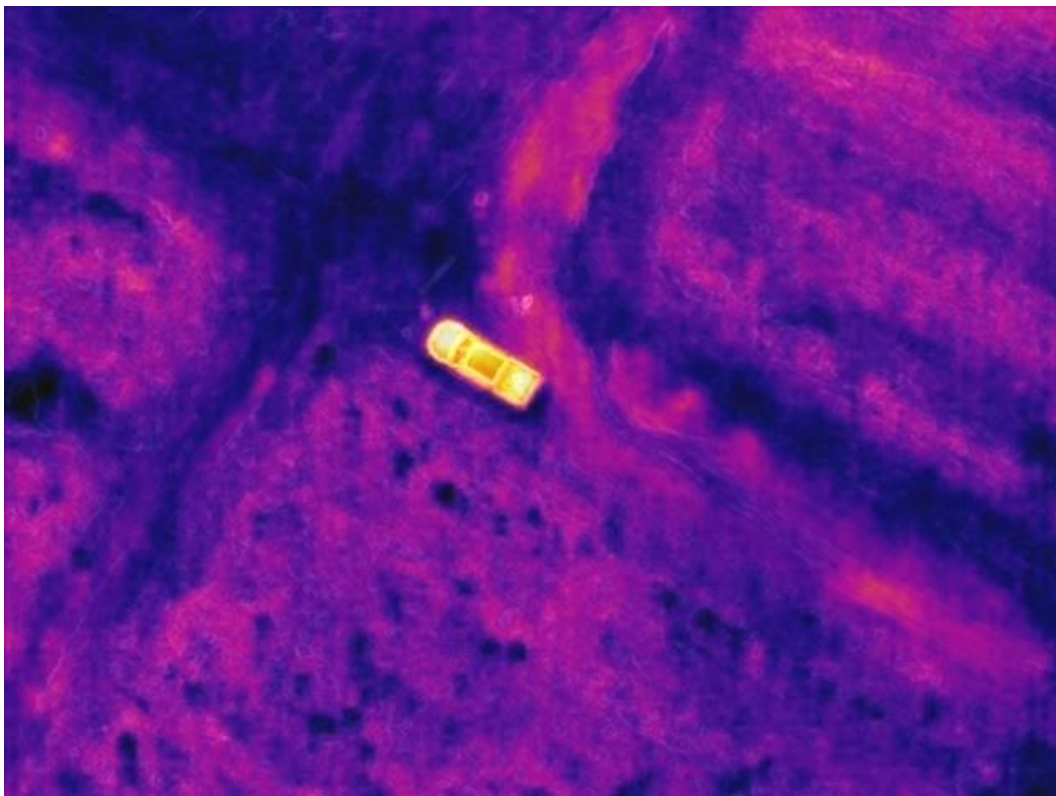


Figura 3 – Imagem termal

As Figuras 4 e 5 mostram as temperaturas obtidas com as imagens de drones. A Figura 4 é a temperatura da superfície com os dados brutos e a Figura 5 a temperatura da superfície com as imagens corrigidas de acordo com os

procedimentos apresentadas na metodologia. Nota-se que após as correções é possível perceber um ajuste nos valores extremos. Em geral, após correções os valores estiveram em torno dos valores observados na PCD, entre 29 e 32°C.

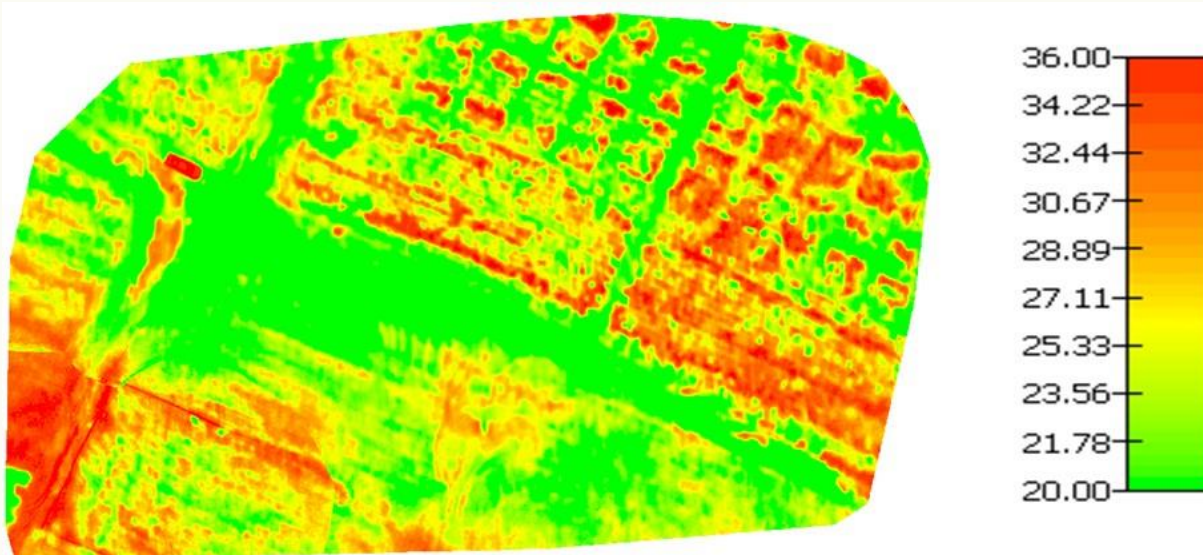


Figura 4 - Temperatura da superfície com os dados brutos do drone.

As imagens de fotogrametria e IR são uma das aplicações de satélites comuns que podem resolver o levantamento periódico de superfícies estendidas com características sistemáticas de imagem. Apesar dessas vantagens indiscutíveis, este método apresenta também várias limitações. Definir temperaturas de superfície por emissão de

satélites pode ser desafiador devido à transmissão atmosférica; Correção radiométrica é necessária para obter temperaturas precisas. Os resultados do satélite obtido saem com uma resolução não inferior a cem metros (por exemplo, Patrick et al., 2004).

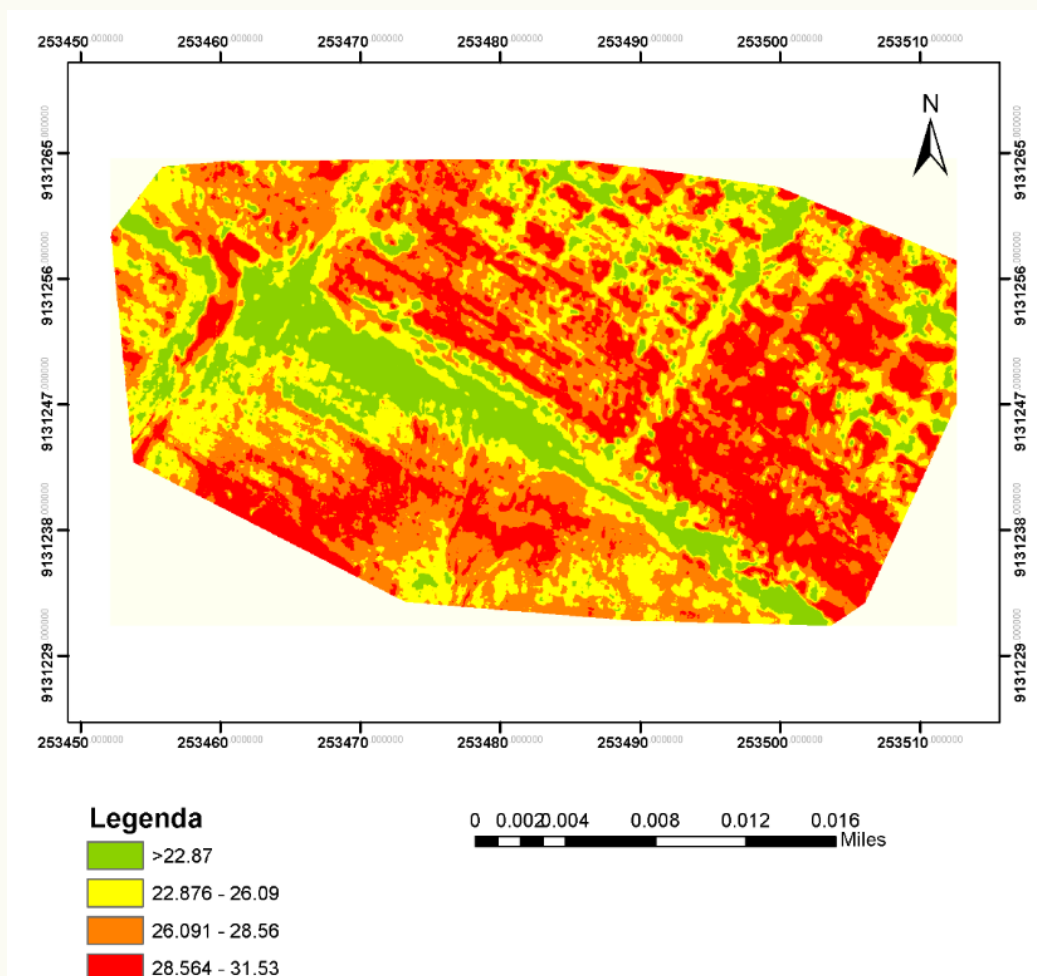


Figura 5 - Temperatura da superfície corrigida.

Poucos estudos foram desenvolvidos no mundo utilizando imagens de drones para estimativa de temperatura. Isso tem ocorrido devido muitos países não permitirem o uso de drones termais, como por exemplo, os Estados Unidos.

Felice et al., (2017) fizeram uso de câmeras térmicas infravermelhas portáteis (IR) de baixo custo para obtenção de dados de temperatura da superfície usando drones. Após o desenvolvimento dessas câmeras de baixo custo o estudo com drones para estimativa de temperatura em áreas de difícil acesso se tornou mais difundido durante os últimos anos. As câmeras térmicas têm a capacidade de estimar valores de temperatura sem contato e, portanto, podem ser usadas em condições onde os alvos são difíceis ou perigosos de alcançar, como erupções vulcânicas. No artigo os autores fizeram uma descrição dos principais processos que afetam e controlam a aquisição de imagens de infravermelho termal e dificulta o uso; 1) o modelo físico empregado durante a coleta de dados da pesquisa não tem sido divulgado pelas empresas que fabricam as câmeras térmicas (ou seja, Flir); 2) um método para capturar imagens infravermelhas de alta resolução sobre um sistema clástico e 3) pouca análise e interpretação dos dados adquiridos e resultados científicos com drones. Mesmo assim, os autores mostraram que é possível obter mosaicos de boa qualidade também em áreas inacessíveis, e onde a presença de fatores de atenuação do infravermelho-IR introduzem erros em termos de estimativas de temperatura. No entanto, o modelo de transferência radiativa da câmera IR (baseado no modelo Lowtran) permite o controle de apenas alguns dos parâmetros que afetam a atenuação do espectro IR.

Avanços e estudos precisam ser realizados para melhor calibração das imagens termais e consequentemente a estimativa de temperatura da superfície. Mesmo assim, acredita-se que estimativa de temperatura da superfície com imagens de drones é bastante promissora. Há necessidade de avanços na calibração radiométrica das imagens. Para uma maior precisão é preciso calibrar as imagens com coeficiente de calibração radiométricos específicos para as imagens obtidas com as suas respectivas características do plano de voo.

Conclusão

É possível obter com boa precisão a estimativa da temperatura da superfície com imagens de drones.

Este resultado é preliminar e necessita de repetição temporal e espacial para mostrar com alta

validação estatística a precisão das estimativas de temperaturas da superfície com imagens de drones. Neste artigo pretende apenas mostrar a viabilidade de se estimar a temperatura da superfície com drones e sua perceptiva futura de uso para monitoramento.

A temperatura da superfície e consequentemente as análises dos diferentes problemas ambientais relacionados a variação espacial e temporal da temperatura podem ser facialmente analisados com drones.

Agradecimentos

O autor agradece ao CNPq – pela bolsa de produtividade de pesquisa, processo 302924/2018-9 e ao projeto universal 402834/2016-0 pela aquisição do drone termal e por custear despesas para imageamento com drones em campo.

Referências

- Allen, R. G.; Morse, A.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Bastiaanssen, W.; Wright, J. L.; Kramber, W. 2002b Evapotranspiration from a satellite-based surface energy balance for Snake Plain aquifer in Idaho. Presented at the meeting of United States Committee on Irrigation, Drainage, and Food Control at San Luis Obispo, CA. [Scielo](#)
- Aleixo, N., & Silva Neto, J. (2016). Precipitação e Riscos em Tefê-AM (Precipitation and risk in Tefê -AM). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1176-1190. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Antoine, R., Fauchard, C., Oehler, J-F., Joignant, P., 2020. Permeability and voids influence on the thermal signal, as inferred by multitemporal UAV-based infrared and visible images. *Journal of Hydrology*. [CrossRef](#)
- Anjos, R., Nóbrega, R., Araújo, F., & Rocha Filho, G. (2016). Spacial Distribution of Rain Types in Pernambuco with the Usage of Remote Sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6, 154-163. [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Araujo, T., & Fonseca, E. (2016). Análise Multitemporal dos Lençóis Maranhenses Entre 1984 a 2014 Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital (Spatio-Temporal Analysis of Lençóis Maranhenses Between 1984 and 2014 Using Orbital Remote Sensing). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 280-295. [Google Scholar](#) [CrossRef](#)
- Arundel, J., Oldroyd, B., Winter, S. 2013. Modelling estimates of honey bee (*Apis* spp.) colony density from drones. *Ecological Modelling* 267, 1-10. [CrossRef](#)

- Assis, J., Calado, L., Souza, W., & Sobral, M. (2015). Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo no Município de Belém de São Francisco-PE nos Anos de 1985 e 2010 (Mapping of Use and Occupancy of Soil in Town of Belém de São Francisco-PE in Years of 1985 and 2010). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 859-870. [CrossRef](#) [GoogleScholar](#)
- Assis, J., Sobral, M., & Souza, W. (2012). Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco (Analysis of Climate Variability Detection Based on Watershed Precipitation in the Sertão of Pernambuco). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5, 630-645. doi: [CrossRef](#) [GoogleScholar](#)
- Bandini, F., Jakobsen, J., Olesen, D., Gutierrez, J. A. R., Bauer-Gottwein, P., 2017. Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Hydrology* 548, 237-250. [CrossRef](#)
- Bastiaanssen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Ma, Y.; Moreno, J. F. Roenink, G. J. Van Der Wal, T. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212–213, 213-229.
- Borsuk, M. E., Higdon, D., Craig A. Stow Kenneth H. Reckhow. 2001. A Bayesian hierarchical model to predict benthic oxygen demand from organic matter loading in estuaries and coastal zones. *Ecological Modelling* 143, 165-181. [CrossRef](#)
- Cavalcante, H., Cruz, P., Viana, L., Silva, D., & Barbosa, J. (2018). Influence of the use and the land cover of the catchment in the water quality of the semiarid tropical reservoirs. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7, 389-398. doi: [CrossRef](#) [GoogleScholar](#)
- Costa, J., & Da Silva, D. (2017). Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará (Distribution space-temporal of rain anomaly index for the Ceará State). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 1002-1013. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Da Cunha e Silva, D. C.; Albuquerque Filho, J. L.; Abreu Sales, J. C.; Lourenço, R. W. 2016. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 627-642. [Google Scholar](#)
- Eetu Kotivuori, E., Kukkonen, M., Mehtätalo, L., Maltamo, M., Korhonen, L., Packalen, P. 2019. Forest inventories for small areas using drone imagery without in-situ field measurements. *Remote Sensing of Environment* 237. [CrossRef](#)
- Felice, F. Di, Mazzini, A., Stefano, G. D., G. Romeo, G., Drone high resolution infrared imaging of the Lusi mud eruption. *Marine and Petroleum Geology* 90, 38-51. [CrossRef](#)
- Francisco, P., Medeiros, R., Matos, R., Bandeira, M., & Santos, D. (2016). Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez Através do BHC para o Estado da Paraíba (Analysis and mapping of moisture indices, water and aridity through the BHC for the Paraíba state). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1093-1108. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Gabriela, K. W., Rodriguez, A., Zajc, M. E., Clément, M. Coster, A., Lambot, S. 2019. A new drone-borne GPR for soil moisture mapping. *Remote Sensing of Environment* 235. [CrossRef](#)
- Gomes, V. P.; Galvêncio, J. D.; Moura, M. S. B., Ferreira, P. S. ; Paz, Y. M. ; Miranda, R. Q. 2016. Hyperspectral remote sensing applied for analysis of the resilience indicators and biome caatinga susceptibility to climate change. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 1122-1136. [Google Scholar](#)
- Guerra, S.M.M., Silva, R.B., A., Araújo, S. P., Corrêa, M.M., Silva, V. L., Santos, B. T. (2015). Caracterização Morfométrica e Avaliação da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica de Bita, Ipojuca – PE (Morphometric characterization and assessment of water quality Hydrographic Basin of Bita, Ipojuca-PE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 759-775. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Kwon, Y. S., Pyo, J. C., Kwon, Y. H., Duan, H., Cho, K. H., Park. Y. 2019. Drone-based hyperspectral remote sensing of cyanobacteria using vertical cumulative pigment concentration in a deep reservoir. *Remote Sensing of Environment* 236. [CrossRef](#)
- Lima, J., Montenegro, S., Montenegro, A., & Koide, S. (2014). Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil (Hidrologia comparativa: relações entre características físicas, comportamento hidrológico e ...). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 1187-1195. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Lima, R., Moreira, E., & Nóbrega, R. (2016). A Influência Climática sobre a Epidemia Dengue na Cidade do Recife por Sistema de Informações Geográficas (Climate Influence on Dengue Epidemic in Recife City by Geographic Information System). *Revista Brasileira de*

- Geografia Física, 9(2), 384-398. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Maier, E., Costi, J., Barreira, S., & Simões, J. (2016). Precipitação na América do Sul: Médias Climáticas e Padrões da Variabilidade no Período entre 1979 e 2008. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 032-046. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Niedzielski, T., Szymanowski, M., Miziński, B., Spallek, W., Witek-Kasprzak, M., Ślopek, J., Kasprzak, M., Błaś, M., Sobik, M., Jancewicz, K., Borowicz, D., Remisz, J., Modzel, P., Męcina, K., Leszczyński, L., 2019. Estimating snow water equivalent using unmanned aerial vehicles for determining snow-melt runoff. *Journal of Hydrology* 578. [CrossRef](#)
- Oliveira, J., de Medeiros, B., da Silva, J., Moura, G., Lins, F., Nascimento, C., & Lopes, P. (2018). Space-temporal evaluation of biophysical parameters in the High Ipanema watershed by remote sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7, 357-366. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Oliveira, T.H.; Silva, J. E. ; Santos, M. O. ;Oliveira, J. S. E. S. ; Galvêncio, J. D. 2015. Time-space evolution of surface drainage and waterproofing process in Santo Amaro, Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1571-1587. [Google Scholar](#)
- Ooi, M. (2015). Seed bank dynamics and climate change in semi-arid ecosystems: a focus on physically dormant species. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 651-659. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Patrick, M., K. Dean, J. Dehn. 2004. Active mud volcanism observed with Landsat 7 ETM+. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 131, 307-320.
- Ren, J. S., Ross, A. H., Hadfield, M. G., Hayden, B. J. 2010. An ecosystem model for estimating potential shellfish culture production in sheltered coastal waters. *Ecological Modelling* 221, 527-539. [Crossref](#)
- Ribeiro, R., Ávila, P., Brito, J., Santos, E., & Sousa, L. (2014). Análise da Tendência Climática nas Séries Temporais de Temperatura e Precipitação de Tucuruí-Pará (Trend Analysis of the Climate in Time Series of Temperature and Precipitation of Pará-Tucuruí). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 798-807. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Sanches, F., Verdum, R., & Fisch, G. (2014). Tendência de Longo Prazo das Chuvas Diárias no Sudoeste do Rio Grande do Sul: os Eventos Extremos e a Arenização (Long-Term Trend of Daily Rainfall in Southwest of Rio Grande do Sul: Extreme Events and the Sandization). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 1100-1109. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Schirmbeck, L. (2017). Understanding TVDI as an index that expresses soil moisture. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7, 82-90. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Singh, K. (2016). Uncertainties in Unmixing of Multi-phase Hyperspectral Data in Reflective Region: Effects of Texture and Fabric. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 5(3), 086-100. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Silva, B. B. Da.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. 2005. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, 243-252.
- Silva, D., Albuquerque Filho, J., Sales, J., & Lourenço, R. (2016). Uso de Indicadores Morfométricos como Ferramentas para Avaliação de Bacias Hidrográficas (Use of Morphometric Indicators as Tools for Assessment Watershed). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 627-642. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Simões, R., Oliveira, U., Espinoza, J., Albuquerque, M., & Alves, D. (2019). Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico (Use of small drone for coastal analysis: methodological approach). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12, 622-640. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Silva, M., de Moura, F., & Jardim, C. (2017). O diagrama de Caixa (Box Plot) Aplicado à Análise da Distribuição Temporal das Chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil (The box diagram (Box Plot) applied to the analysis of the temporal distribution of rainfall in ...). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 023-040. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Silva, E. R. A. C. ;Miranda, R. Q.; Ferreira, P. S.; Gomes, V. P. ; Galvêncio, J. D. 2016. Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE / Hydrological stress estimate in Pontal watershed-PE. *Caderno de Geografia*, 26, 844-861.
- Sousa, F., Vieira, V., Silva, V., Melo, V., & Guedes, R. (2016). Estimativas dos Riscos de Chuvas Extremas nas Capitais do Nordeste do Brasil (Estimates of the Risks of Extreme Rainfall in Capitals of Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 430-439. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Spinelli, M., Carvalho, R., Silva, H., Brandão, S., & Frutuoso, M. (2016). Estudo Sustentável da Capacidade de Carga Antrópica e a sua Influência no Ponto de Equilíbrio da Resiliência Ambiental (Sustainable Study of the Anthropic

- Carrying Capacity and Its Influence on the Point of Equilibrium of the Environmental Resilience). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 185-199. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Souza, L., Moura, M., Sediya, G., & Silva, T. (2015). Balanço de Radiação em Ecossistema de Caatinga Preservada Durante um Ano de Seca no Semiárido Pernambucano (Radiation Balance in Caatinga Ecosystem Preserved for a Year Drought in Semiarid Pernambucano). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 041-055. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Tauro, F., Porfiri, M., Grimaldi, S. 2016. Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology*, 540, 240-245. [CrossRef](#)
- Viana, R., Santos, G., Moreira, D., Louzada, J., & Rosa, L. (2019). O Uso da Geoestatística Espaço-Temporal na Predição da Temperatura Máxima do Ar (The Use of Space-Temporal Geostatistics in the Prediction of Maximum Air Temperature). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12, 096-111. Doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Vieira, A., de Magalhães, M., & da Silva, M. (2017). Uso da Terra como facilitador da Degradação Ambiental no município de Santa Quitéria, Ceará (Land use as a facilitating factor of environmental degradation in the municipality of Santa Quitéria, Ceara). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 1329-1345. doi: [CrossRef](#) [Google Scholar](#)
- Quinn, W. Lewis Evan M. Lindroth Bruce L. Rhoads. 2018. Integrating unmanned aerial systems and LSPIV for rapid, cost-effective stream gauging. *Journal of Hydrology* 560, 230-246. [CrossRef](#)
- Yurovskaya, M., Rasle, N., Kudryavtsev, V., Chapron, B., Marié, L., Molemaker, J., Wave spectrum retrieval from airborne sunglitter images. *Remote Sensing of Environment* 217, 61-71. [CrossRef](#)