

MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DA CONSTELAÇÃO PLANETSCOPE UTILIZANDO COMO BASE O SENSOR MSI/SENTINEL-2

**RAFAEL LUÍS SILVA DIAS¹, RONAM HENRIQUE FONSECA MACEDO²,
FERNANDA GONÇALVES BORGES³, RICARDO SANTOS SILVA AMORIM⁴,
ELPIDIO INÁCIO FERNANDES FILHO⁵, DEMETRIUS DA SILVA⁶**

¹ Eng. Ambiental, Doutorando em Eng. Agrícola, Depto. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, rafael.luis@ufv.br

² Graduando em Eng. de Agrimensura e Cartográfica, Depto. de Eng. Civil, UFV, Viçosa – MG, ronam.macedo@ufv.br

³ Eng. Ambiental, Mestranda em Eng. Agrícola, Depto. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, fernanda.borges@ufv.br

⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Associado. Doutor, Depto. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, rsamorim@ufv.br

⁵ Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto. Doutor, Depto. de Solos, UFV, Viçosa – MG, elpidio@ufv.br

⁶ Eng. Agrônomo, Prof. Titular. Doutor, Depto. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, demetrius@ufv.br

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: A ocorrência de eventos extremos exige que aumente a demanda pelo monitoramento das superfícies nos domínios espaço-temporais. Assim, o sensoriamento remoto orbital vem ganhando os holofotes nos últimos anos, porém a grande maioria dos sensores apresentam limitações pelas resoluções espectrais, espaciais e temporais. A Planet buscando solucionar essa demanda, vêm lançando uma grande quantidade de nanosatélites. Eles apresentam alta resolução espaço-temporal, entretanto a qualidade radiométrica apresenta inconsistências. Desta forma, o objetivo deste estudo é desenvolver um método de normalização radiométrica da constelação de nanosatélites PlanetScope (PS) com base nas imagens do sensor Sentinel-2 (S2). Para isso, foram utilizadas imagens S2 que apresentam potencial de utilização como sensor base, em estações de chuva e estiagem dos anos de 2017 a 2021. Por fim, foram ajustadas regressões lineares para cada banda e avaliadas com as métricas R^2 , RMSE, MAE e coeficiente de Lin's. Os resultados mostram que as imagens PS têm grande potencial para aplicações agrícolas e ambientais, em especial onde se desejam dados efêmeros ou em pequenas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: NANOSATÉLITES, PLANET, EVENTOS EXTREMOS

METHOD OF RADIOMETRIC NORMALIZATION OF THE PLANETSCOPE CONSTELLATION USING THE MSI/SENTINEL-2 SENSOR AS A BASE

ABSTRACT: The occurrence of extreme events requires that increased demand for monitoring surfaces in the space-time domains. Thus, orbital remote sensing has been gaining the spotlight in recent years, but the vast majority of sensors have limitations by spectral, spatial and time resolutions. Planet seeking to solve this demand, have been launching a large number of nanosatellites. They present high slight-time resolution, however the radiometric quality presents inconsistencies. Thus, the aim of this study is to develop a method of radiometric normalization of the constellation of nanosatellites PlanetScope (PS) based on sentinel-2 (S2) sensor images. For this, S2 images were used that presents potential for use as a base sensor, in rain and drought seasons from 2017 to 2021. Finally, linear regressions were adjusted for each band and Evaluated with the metrics R^2 , RMSE, MAE and Lin's coefficient.

The results show that PS images have great potential for agricultural and environmental applications, especially where ephemeral data are desired or in small areas.

KEYWORDS: NANOSATELLITES, PLANET, EXTREME EVENTS

INTRODUÇÃO: A crescente preocupação com a segurança hídrica e ambiental, fez com que o monitoramento da superfície e caracterização nos domínios do espaço e do tempo, ganhasse forte alarde (YOUNG et al., 2021). Observando essas demandas, os sistemas com sensores a bordo dos satélites vem se desenvolvendo de forma exponencial (HOUBORG; MCCABE, 2016). No entanto, a grande maioria dos sensores é limitada pelas resoluções espectrais, espaciais e temporais (LATTE; LEJEUNE, 2020). Por necessidades construtivas, os satélites planejados para obter imagens com alta resolução espacial geralmente têm baixa resolução temporal, pois cenas menores levam um tempo de revisita mais longo (WEGMUELLER; LEACH; TOWNSEND, 2021b). Assim, a Planet a fim de solucionar esse problema, lançou uma grande quantidade de nanossatélites “Dove”, que fornecem imagens diárias da superfície terrestre com alta resolução espacial. Além disso, possuem tamanho de uma caixa de sapato e pesam 5 kg, muito menores, mais baratos de construir e lançar do que os satélites convencionais (PLANET TEAM, 2020). Com tantas vantagens, o sensor PlanetScope (PS), vem sendo amplamente difundido nas mais diversas aplicações ecológicas e ambientais. Diversos autores têm utilizado as imagens PS especialmente quando se deseja a detecção de mudanças efêmeras ou em pequenas áreas (FRANCINI et al., 2020; SHIN et al., 2021; WANG et al., 2021; WU et al., 2021). Embora apresente grandes vantagens em termos de resolução espaço-temporal, a qualidade radiométrica não é equivalente à de satélites convencionais maiores, como Landsat, MODIS ou Sentinel-2 (S2). Inconsistências radiométricas foram relatadas por Houborg e McCabe (2018a) e por Leach; Coops; Obrknezev (2019a), estas inconsistências são creditadas principalmente devido às funções de resposta espectral específicas do sensor, mas também às variações na configuração orbital. Assim, uma alternativa para superar essas limitações é a aplicação de técnicas de correção radiométrica (XU et al., 2021). A correção radiométrica pode ser dividida em dois grupos, a correção radiométrica absoluta (CRA) e normalização radiométrica relativa (NRR) (ZHU, 2017). A correção radiométrica absoluta faz uso de parâmetros de correção atmosférica relacionados e dados de observação de satélite síncronos para realizar calibração precisa do sensor (YANG; LO, 2000). Entretanto, a aplicação da CRA ainda enfrenta muitos obstáculos devido à dificuldade de obtenção de parâmetros de correção atmosférica para imagens históricas (XU et al., 2021). Já a NRR utiliza informações radiométricas derivadas das próprias imagens, dessa forma, realiza o ajuste do valor dos pixels da imagem alvo para coincidir com os da imagem de referência (ZHANG; WU; DU, 2014). O método NRR tem como base a identificação por pares de recursos pseudo-invariantes entre as imagens e a partir destes, construir um modelo de normalização radiométrica (SYARIZ et al., 2019). Por definição, os objetos pseudo-invariantes são objetos de solo com uma refletância relativamente constante durante as datas de aquisição de várias imagens, sendo de extrema importância para estabelecer um modelo de normalização radiométrica (SCHOTT; SALVAGGIO; VOLCHOK, 1988). Para atender os requisitos da NRR, serão utilizadas imagens do sensor S2, fornecidas pela Agência Espacial Europeia (ESA). As imagens S2 apresentam grande potencial de utilização como sensor base para a normalização, isso porque possui uma excelente calibração radiométrica entre sensores (GASCON et al., 2017; LAMQUIN et al., 2019), além de possuir 13 bandas espectrais, resolução temporal de 5 dias e resolução espacial variado de 10 a 60 metros (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2021; LATTE; LEJEUNE, 2020). Desta forma, o objetivo deste estudo é desenvolver um método de

normalização radiométrica da constelação de nanossatélites PS com base nas imagens do sensor S2.

MATERIAL E MÉTODOS: A área de estudo contempla um quadrante de 2.000 km² localizado na parte norte do reservatório de Três Marias, porção Alta da bacia hidrográfica do São Francisco (Figura 1), na região central do estado de Minas Gerais (ANA, 2017). De acordo com (CEMIG, 2021), o reservatório de Três Marias tem área de 923 km², abrange nove municípios e tem um papel fundamental na economia da região. A região tem altitude média de 720 m e possui relevo predominantemente forte ondulado e montanhoso. Em relação às classes de solo, há predomínio de Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Cambissolos Húmicos (EMBRAPA, 2006). De acordo com Alvares (2014), o clima é classificado como Aw tropical, que consiste em duas estações bem definidas: um verão chuvoso de outubro a março e um inverno seco de abril a setembro. Este quadrante foi escolhido, pois o reservatório de Três Marias é o receptor da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. A referida bacia foi palco de um dos maiores desastres socioambientais da história do Brasil no dia 25 de janeiro de 2019, quando ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da mina do Córrego do Feijão, no município Brumadinho. Esse desastre levou cerca de 12 milhões de metros cúbicos de lama diretamente ao rio Paraopeba (DA SILVA, 2020).

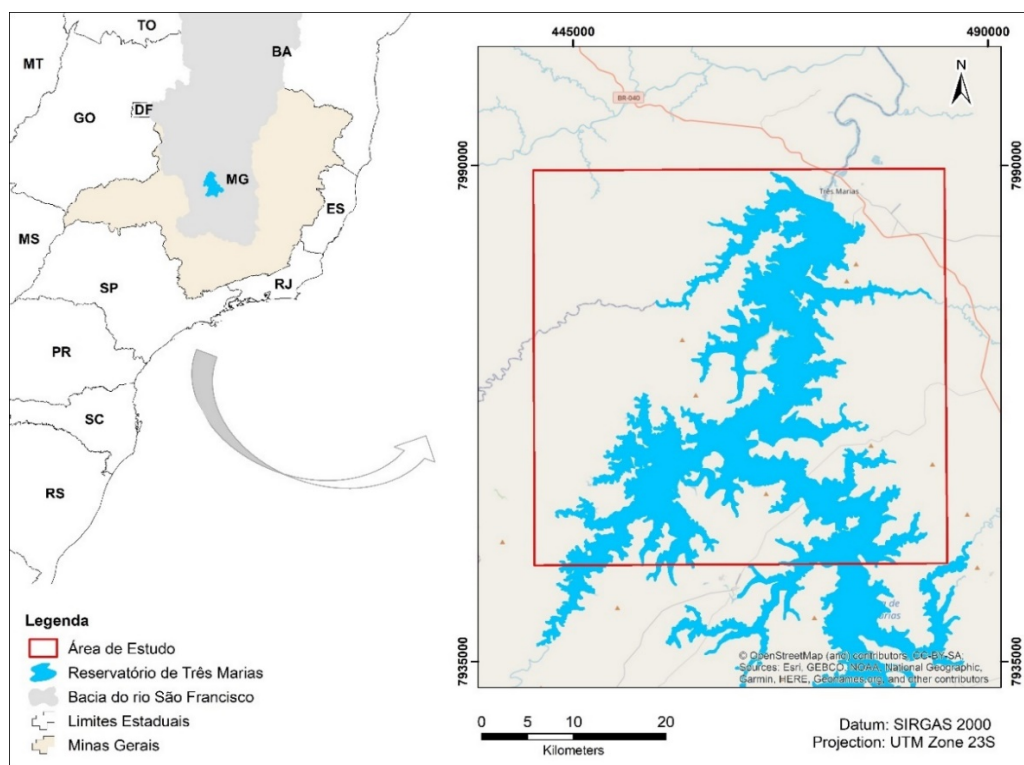


FIGURA 1: Localização do quadrante utilizado como área de estudo.

A figura 2 apresenta um fluxograma das etapas que serão abordadas no projeto. Inicialmente foi realizada a aquisição das imagens do S2 e PS e os pré-processamentos. Em seguida, foram ajustados modelos lineares para cada banda do sensor PlanetScope. Por fim, foram escolhidas imagens em diferentes datas e estações do ano para a validação dos modelos. Assim, foi possível avaliar qual o comportamento das imagens do sensor PS quando submetido a técnicas de normalização radiométrica, utilizando como base imagens do satélite S2.

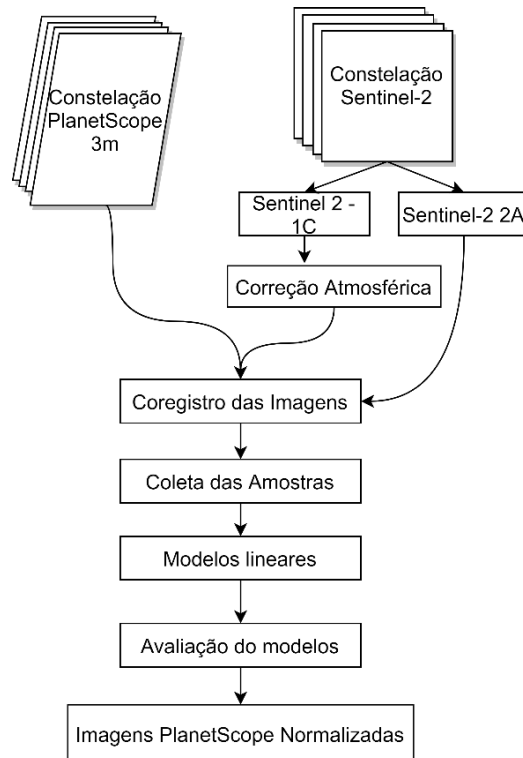


FIGURA 2: Diagrama conceitual dos processos realizados para modelagem da turbidez em reservatórios utilizando imagens orbitais.

Para o download das imagens S2, o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) (LUCA CONGEDO, 2021), foi implementado no QGIS (QGIS TEAM, 2016). Foram selecionadas sete imagens com baixa cobertura de nuvem e em diferentes estações do ano. Na segunda etapa, as imagens fornecidas pela ESA de 2016 a 2017 (classe 1C) não apresentam correção da atmosférica, assim, foi utilizando o modelo *Sen2Cor* (LOUIS et al., 2016) para minimizar o efeito atmosférico nos espectros alvo nas imagens. Já para as imagens PS (PLANET TEAM, 2021) o download foi realizado através da Interface de Programação de Aplicativos (API) disponível em: <https://www.planet.com/explorer>. Todas as cenas escolhidas possuem baixa nebulosidade e foram capturadas na mesma data e com horários semelhantes as imagens S2. Em seguida foi realizado o corregristo geoespacial das imagens PS. O corregristo geoespacial entre sensores é um pré-requisito essencial quando se trabalha com dados de sensoriamento remoto. O registro incorreto inter ou intrassensorial afetará em qualquer análise de imagem subsequente, especificamente ao processar dados multissensoriais ou multitemporais (SCHEFFLER et al., 2017). A fim de reduzir erros de corregristo de sensor cruzado, cenas PS sucessivas são alinhadas por meio da otimização de sua autocorrelação espacial, conforme descrito em Houborg e McCabe (2018b). A técnica automatizada determina deslocamentos de pixel nas direções x e y em referência a uma imagem de base, maximizando a qualidade do ajuste. Por fim, foi definido uma grade regular com 2500 pontos, os mesmos foram utilizados para extrair as amostras espectrais por bandas na imagem alvo (PS) e a imagem de referência (S2). Para a calibração dos modelos foram utilizadas quatro imagens dos anos de 2017, 2020 e 2021 e três imagens de 2018, 2019 e 2021 para a validação (Tabela 1). Para simplificar a interpretação e aplicação dos resultados, foram ajustadas regressões lineares em cada uma das bandas espectrais. Todas as etapas foram realizadas em linguagem R no software R Studio (R CORE TEAM, 2020).

TABELA 1: Descrição dos dados de aquisição nas duas plataformas.

Data	PlanetScope			Sentinel-2	
	Instrumento	Satélite	Hora	Satélite	Hora
Calibração					
18/9/2021	PSB.SD PS2.SD	2402	13:15:32	S2B	13:14:17
		106c	13:36:00		
		2405	13:14:38		
		2262	12:35:07		
28/9/2020	PS2 PS2.SD	2432	12:28:13	S2B	13:12:45
		2304	12:32:47		
		106d	13:59:23		
28/12/2017	PS2	0f2a	11:39:15	S2A	13:12:36
		0f17	12:37:36		
		103b	12:36:13		
9/10/2017	PS2	0f43	12:35:38	S2A	13:14:11
		1050	14:26:19		
		0f52	12:31:55		
Validação					
1/7/2018	PS2	0f34	12:32:49	S2B	13:12:41
		1006	12:42:16		
		0f44	13:46:46		
		0f3c	13:44:32		
31/1/2021	PS2 PS2.SD PSB.SD	1013	12:43:21	S2A	13:12:43
		1052	11:18:03		
		241c	13:15:52		
19/9/2019	PS2	2264	12:32:51	S2B	13:12:42
		101b	12:50:54		
		0f17	12:56:21		
		103c	12:52:40		

Com o objetivo de avaliar o desempenho dos modelos ajustados para cada banda, os valores normalizados nas bandas do sensor PS foram comparados aos valores observados na imagem de referência S2. Foram utilizadas seguintes métricas estatísticas: coeficiente de determinação - R^2 (Equação 1), raiz do erro quadrático médio - RMSE (Equação 2), erro absoluto médio - MAE (Equação 3) e coeficiente de concordância de Lin's (Equação 4) (ARLOT; CELISSE, 2010; KENNEDY; NEVILLE, 1986; LIN, 1989).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (3)$$

$$LCCC = \frac{n \cdot 2S_{Pr}}{(\bar{P} - \bar{O})^2 + V_p + V_o} \quad (4)$$

Onde P_i representa o valor predito pelo modelo; O_i representa os valores observados; \bar{O} representa a média dos valores observados; \bar{P} representa a média dos valores preditos; V_p e V_o são as variações dos valores preditos e estimados e n representa o número de pares de observações.

O valor de R^2 indica até que ponto a variação das variáveis independentes explicam a variância da variável dependente. O RMSE é uma métrica de precisão do modelo obtida pela diferença quadrática entre os dados estimados e observados, ele atribui maior importância aos

erros maiores, ou seja, o RMSE deve ser mais útil quando erros grandes são particularmente indesejáveis, enquanto o MAE fornece um valor médio dos erros absolutos. O LCCC fornece uma medida de confiabilidade que se baseia na covariações e correspondências, a linha de correlação passa pela origem e tem uma inclinação 1:1, dessa forma indica o nível de discordância entre a linha de melhor ajuste e a linha de concordância perfeita (ALTHOFF; RODRIGUES, 2021; KESHTEGAR; HEDDAM, 2018; KESHTEGAR; PIRI; KISI, 2016; MORIASI et al., 2007)

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 3 apresenta os modelos gerados a partir das relações entre a refletância das imagens PS x S2 para as bandas espectrais. As bandas B2, B3 e B4 possuem elevado R^2 e valores de baixos de RMSE e MAE considerando o intervalo amostral. Todos os valores de p-value foram inferiores a 2×10^{-6} , tornando a regressão significativa a 99%. Desta forma, as bandas 2,3,4 do sensor PS são explicadas pela regressão gerada ao longo das mesmas linhas com a refletância espectral para bandas 3, 4 e 8 do sensor MSI/S2 em 76%, 88% e 91%, respectivamente. A banda 1 (Azul) correspondente à banda 2 do S2, foi a que apresentou o menor R^2 , com representatividade de 53%. Quando avaliamos o LCCC observamos que variou de 0.46 a 0.89 em relação a reta 1:1.

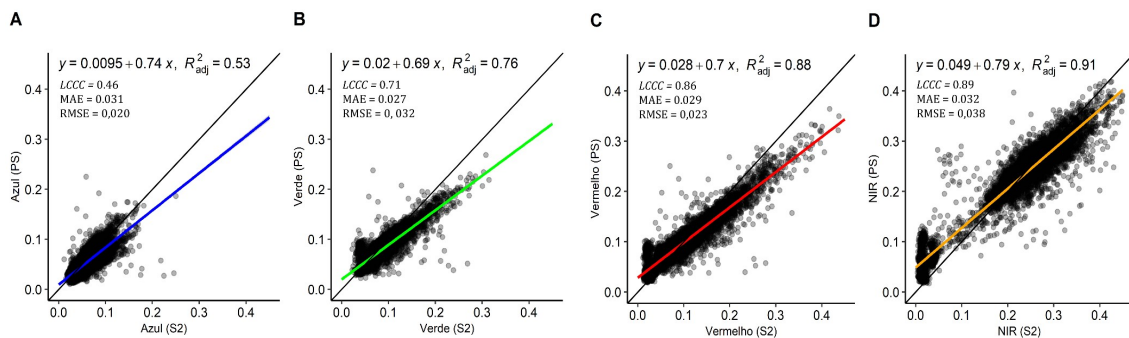


FIGURA 3: Comparação entre os valores observados e estimados pelo modelo linear para as bandas Azul (A), Verde (B), Vermelho (C) e NIR (D).

A fim de se entender o comportamento do modelo gerado, bandas normalizadas do sensor PS de 19 de setembro de 2019 foram utilizadas para a geração do índice NDVI. Na Figura 4 é apresentada a análise residual dos valores de reflectância calibrada utilizando modelo linear.

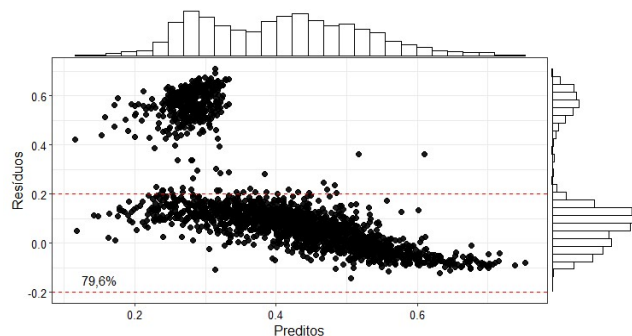


FIGURA 4: Análise residual dos valores de reflectância calibrados utilizando modelo linear.

Podemos observar a existência de dois conjuntos bem definidos, o primeiro grupo representando 79,6% das amostras com valores entre -0,2 e 0,2 indicando baixo erro na predição. O segundo grupo apresenta resultados superiores a 0,2 indicando altos valores de erro, dessa forma uma calibração imprecisa. Como o quadrante em estudo trata-se de uma

área com a divisão de dois grupos bem definidos, solo e água (reservatório de Três Marias), os valores foram espacializados e são apresentados na Figura 5.

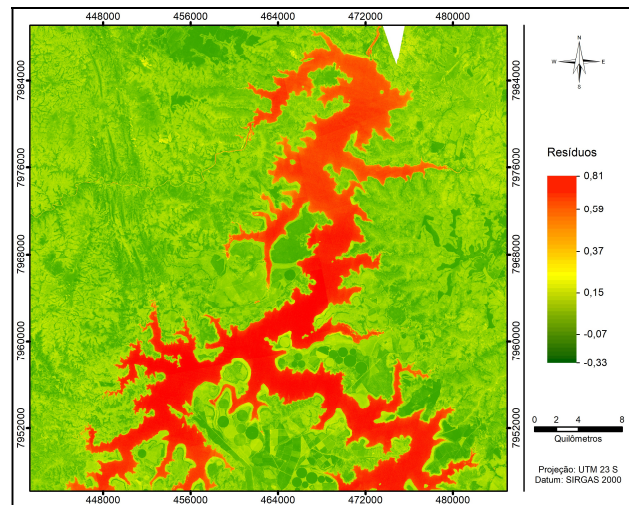


FIGURA 5: Espacialização dos resíduos aplicando o modelo linear no quadrante em estudo.

Na Figura 5 é possível notar com maiores detalhes a baixa precisão do modelo em ambientes aquáticos, valores inferiores a 0,3 apresentam os maiores erros, se aproximando de 0,81. Contudo, vale ressaltar a boa assertividade do modelo em ambientes secos, onde conseguiu apresentar os detalhes da superfície com alta resolução temporal, espectral e radiométrica.

CONCLUSÕES: Com base nesta prévia foi possível perceber que as imagens do sensor PS apresentaram grande potencial para aplicações agrícolas e ambientais, onde se desejam dados efêmeros ou em pequenas áreas. Cabe ressaltar que, por se tratar de um experimento local, apenas 2000 km², e baixa variabilidade temporal, estudos complementares serão necessários para averiguar a qualidade da normalização das imagens diante de modelos lineares com maior quantidade de amostras espaço-temporais. Outros pontos observados neste estudo que podem ser alvos de investigações futuras, estão relacionados à utilização de modelos não paramétricos, com técnicas mais robustas para a interpretação do padrão de dados deste estudo e a averiguação de técnicas de correções atmosféricas que podem influenciar consideravelmente nos valores de refletância de alvos mais escuros.

AGRADECIMENTOS: Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES), Código Financeiro 001 e pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e com auxílio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

REFERÊNCIAS:

AATI, S.; AVOUAC, J. P. Optimization of optical image geometric modeling, application to topography extraction and topographic change measurements using PlanetScope and Skysat imagery. **Remote Sensing**, v. 12, n. 20, p. 1–25, 2020.

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. et al. Pantropical modelling of canopy functional traits using Sentinel-2 remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 252, n. May 2020, p. 112122, 2021.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N. Goodness-of-fit criteria for hydrological models: Model calibration and performance assessment. **Journal of Hydrology**, v. 600, n. May, p. 126674, 2021.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ANA. **Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília - DF, 2017.

ARLOT, S.; CELISSE, A. A survey of cross-validation procedures for model selection. **Statistics Surveys**, v. 4, p. 40–79, 2010.

CEMIG. **CEMIG Website**, 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br>>. Acesso em: 22 set. 2021

DA SILVA, C. A. **Impactos da mineração na vida dos pescadores artesanais do rio Paraopeba-Dossiê: Brumadinho (MG)**. Letra Capital Editora LTDA, 2020.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos** (EMBRAPA, Ed.). Rio de Janeiro, 2006.

FRANCINI, S. et al. Near-real time forest change detection using PlanetScope imagery. **European Journal of Remote Sensing**, v. 53, n. 1, p. 233–244, 2020.

FRAZIER, A. E.; HEMINGWAY, B. L. A Technical Review of Planet Smallsat Data: Practical Considerations for Processing and Using PlanetScope Imagery. **Remote Sensing 2021, Vol. 13, Page 3930**, v. 13, n. 19, p. 3930, 2021.

GASCON, F. et al. Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. **Remote Sensing**, v. 9, n. 6, 2017.

HEMINGWAY, B. L.; FRAZIER, A. E. Cross-sensor radiometric normalization of Planet Smallsat data using Sentinel-2 to improve consistency across scenes and environments. <https://doi.org/10.1117/12.2600246>, v. 11862, p. 1186204, 2021.

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. High-Resolution NDVI from planet's constellation of earth observing nano-satellites: A new data source for precision agriculture. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, 2016.

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. Daily retrieval of NDVI and LAI at 3 m resolution via the fusion of CubeSat, Landsat, and MODIS data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, 2018a.

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. A CubeSat enabled Spatio-Temporal Enhancement Method (CESTEM) utilizing Planet, Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, n. February, p. 211–226, 2018b.

HUANG, H.; ROY, D. P. Characterization of Planetscope-0 Planetscope-1 surface reflectance and normalized difference vegetation index continuity. **Science of Remote Sensing**, v. 3, n. October 2020, p. 100014, 2021.

KÄÄB, A.; ALTENA, B.; MASCARO, J. River-ice and water velocities using the Planet optical cubesat constellation. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 10, p. 4233–4247, 2019.

KENNEDY, J. B.; NEVILLE, A. M. **Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists**. Nova Iorque, Harper and Row, 1986.

KESHTEGAR, B.; HEDDAM, S. Modeling daily dissolved oxygen concentration using modified response surface method and artificial neural network: a comparative study. **Neural Computing and Applications**, v. 30, n. 10, p. 2995–3006, 2018.

KESHTEGAR, B.; PIRI, J.; KISI, O. A nonlinear mathematical modeling of daily pan evaporation based on conjugate gradient method. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 120–130, 2016.

LAMQUIN, N. et al. An inter-comparison exercise of Sentinel-2 radiometric validations assessed by independent expert groups. **Remote Sensing of Environment**, v. 233, n. August, 2019.

LATTE, N.; LEJEUNE, P. PlanetScope radiometric normalization and sentinel-2 super-resolution (2.5 m): A straightforward spectral-spatial fusion of multi-satellite multi-sensor images using residual convolutional neural networks. **Remote Sensing**, v. 12, n. 15, 2020.

LEACH, N.; COOPS, N. C.; OBRKNEZEV, N. Normalization method for multi-sensor high spatial and temporal resolution satellite imagery with radiometric inconsistencies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 164, p. 104893, 2019b.

LI, W. et al. Generating red-edge images at 3M spatial resolution by fusing sentinel-2 and planet satellite products. **Remote Sensing**, v. 11, n. 12, p. 1–18, 2019.

LIN, L. I.-K. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. **Biometrics**, v. 45, n. 1, p. 255, mar. 1989.

LUCA CONGEDO. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Release 7.9.5.1. n. August, 2021.

MANSARAY, A. S. et al. Comparing PlanetScope to Landsat-8 and Sentinel-2 for Sensing Water Quality in Reservoirs in Agricultural Watersheds. **Remote Sensing 2021, Vol. 13, Page 1847**, v. 13, n. 9, p. 1847, 2021.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007.

NAGEL, G. W.; NOVO, E. M. L. DE M.; KAMPEL, M. Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 15, n. 3, p. 1, 3 jun. 2020.

NIROUMAND-JADIDI, M. et al. Physics-based bathymetry and water quality retrieval using PlanetScope imagery: Impacts of 2020 COVID-19 lockdown and 2019 extreme flood in the Venice lagoon. **Remote Sensing**, v. 12, n. 15, 2020.

NIROUMAND-JADIDI, M.; BOVOLO, F. Water quality retrieval and algal bloom detection using highresolution CubeSat imagery. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 5, n. 3, p. 191–195, 2021.

PLANET TEAM. Planet Surface Reflectance Product v2. Planet Labs, Inc. Accessed 30.11.2020.
https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf. p. 1–18, 2020.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA, USA. **Planet Labs Inc**, p. 1–96, 2021.

QGIS TEAM. **QGIS geographic information system Open-source geospatial foundation project**, 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing, version 3.3.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing**, 2020. Disponível em: <<https://www.r-project.org>>

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, n. 1974, p. 309, 1974.

SABRINA, R. N. F.; SUDARYATNO, S. Multitemporal analysis for trophic state mapping in Batur lake at Bali province based on high-resolution PlanetScope imagery. **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences**, v. 17, n. 2, p. 149–162, 2021.

SADEH, Y. et al. Fusion of Sentinel-2 and PlanetScope time-series data into daily 3 m surface reflectance and wheat LAI monitoring. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 96, p. 102260, 2021.

SCHEFFLER, D. et al. AROSICS: An automated and robust open-source image co-registration software for multi-sensor satellite data. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, 2017.

SCHOTT, J. R.; SALVAGGIO, C.; VOLCHOK, W. J. Schott. **Remote Sensing of Environment**, v. 16, p. 1–16, 1988.

SHIN, J. et al. High spatial-resolution red tide detection in the southern coast of Korea using u-net from PlanetScope imagery. **Sensors**, v. 21, n. 13, 2021.

SYARIZ, M. A. et al. Spectral-consistent relative radiometric normalization for multitemporal Landsat 8 imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 147, n. November 2018, p. 56–64, 2019.

VANHELLEMONT, Q. Daily metre-scale mapping of water turbidity using CubeSat imagery. **Optics Express**, v. 27, n. 20, p. A1372, 2019.

WANG, J. et al. Automatic cloud and cloud shadow detection in tropical areas for PlanetScope satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v. 264, n. May, p. 112604, 2021.

WEGMUELLER, S. A.; LEACH, N. R.; TOWNSEND, P. A. LOESS radiometric correction for contiguous scenes (LORACCS): Improving the consistency of radiometry in high-resolution satellite image mosaics. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 97, p. 102290, 2021a.

WILSON, N. et al. Absolute Radiometric Calibration of Planet Dove Satellites, Flocks 2p & 2e. **Planet: San Francisco, CA, USA**, 2017.

WIRABUMI, P. et al. Spatial Distribution Analysis of Total Suspended Solid (TSS) using PlanetScope Data in Menjer Lake, Wonosobo Regency. **Journal of Applied Geospatial Information**, v. 4, n. 1, p. 289–297, 2020.

WIRABUMI, P.; KAMAL, M.; WICAKSONO, P. Determining effective water depth for total suspended solids (TSS) mapping using PlanetScope imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 15, p. 5784–5810, 3 ago. 2021.

WU, S. et al. Monitoring tree-crown scale autumn leaf phenology in a temperate forest with an integration of PlanetScope and drone remote sensing observations. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 171, n. June 2020, p. 36–48, 2021.

XU, H. et al. A novel automatic method on pseudo-invariant features extraction for enhancing the relative radiometric normalization of high-resolution images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 16, p. 6155–6186, 2021.

YANG, X.; LO, C. P. Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, n. 8, p. 967–980, 2000.

YOUNG, S. L. et al. Perspective: The Importance of Water Security for Ensuring Food Security, Good Nutrition, and Well-being. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 4, p. 1058–1073, 2021.

ZHANG, L.; WU, C.; DU, B. Automatic Radiometric Normalization for Multitemporal Remote Sensing Imagery with Iterative Slow Feature Analysis. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 10, p. 6141–6155, 2014.

ZHU, Z. Change detection using Landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 370–384, 2017.